

University of Groningen

Warmtehuishouding van pasgeborenen met een laag geboortegewicht. Een onderzoek naar warmteproductie en warmteafgifte van pasgeborenen met een laag geboortegewicht in een couveuse met wandverwarming.

Okken, Albert

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1976

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Okken, A. (1976). *Warmtehuishouding van pasgeborenen met een laag geboortegewicht. Een onderzoek naar warmteproductie en warmteafgifte van pasgeborenen met een laag geboortegewicht in een couveuse met wandverwarming.* [, Rijksuniversiteit Groningen]. [S.n.].

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

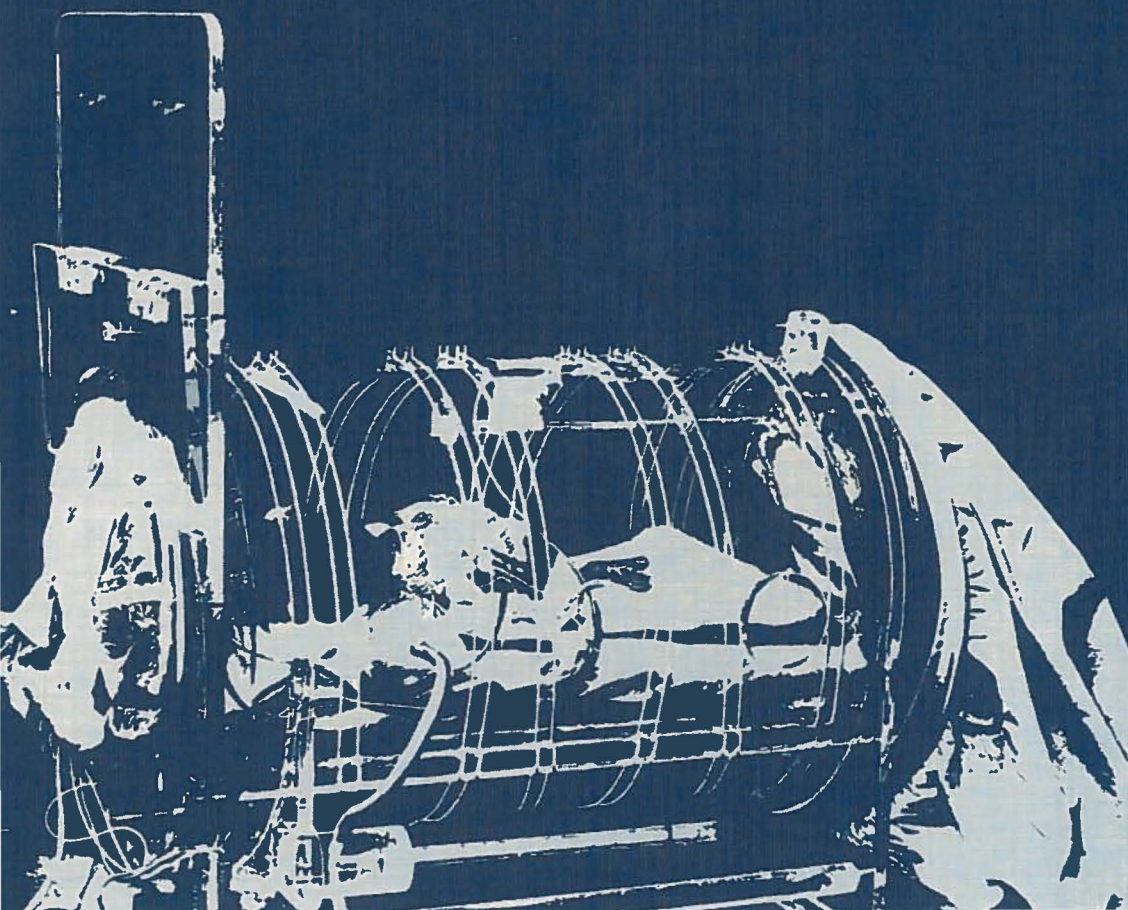
Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Warmtehuishouding van pasgeborenen met een laag geboortegewicht

A. Okken



**WARMTEHUISHOUDING VAN PASGEBORENEN
MET EEN LAAG GEBOORTEGEWICHT**

STELLINGEN

1. In een couveuse dienen niet alleen de luchttemperatuur en de vochtigheid, maar ook de wandtemperatuur en de luchtsnelheid instelbaar en regelbaar te zijn.
2. Het begrip couveusetemperatuur dient te worden vervangen door het begrip couveuseklimaat; in dit begrip moeten lucht- en wandtemperatuur, luchtsnelheid en vochtigheid opgenomen zijn.
3. Een pasgeborene met een zeer laag geboortegewicht, die zich ter verwarming onder een infrarode stralingsbron bevindt is, voor zover het de perspiratio insensibilis betreft, te vergelijken met een slak in de woestijn.
4. Het principe van de Bishop-Koop anastomose bij de congenitale darmatresie verdient een bredere toepassing in de neonatale chirurgie.
5. Bij het vermoeden van onderontwikkeling van de foetus dient cardiotocografie te worden verricht.
6. Bij het jonge kind kan hyperoxaemie de bloeddoorstroming van de weefsels dusdanig doen afnemen dat de gevolgen even schadelijk zijn als die van hypoxaemie.
7. Bij de screening van pasgeborenen op congenitale hypothyreoïdie dient men op de beperkingen van dit onderzoek te wijzen.
8. Voor de diagnostiek van cerebrale paresen bij zuigelingen is herhaald onderzoek in het eerste levensjaar noodzakelijk.
9. Kenmerkend voor de *spongy degeneration of the brain in infancy* (ziekte van Canavan of Bertrand-Van Bogaert) is de aanwezigheid van een bijzondere vorm van mitochondriën in astrocyten.

10. De neonatoloog dient zich ervan bewust te zijn dat de huidige behandeling van prematuren het blijven bestaan van de ductus arteriosus bij deze kinderen bevordert.
11. De verbeterde prognose bij de behandeling van kinderen met tumoren is mede het gevolg van de in de kideroncologie ver doorgevoerde multidisciplinaire samenwerking.
12. Bij het vermoeden van aangeboren afwijkingen van de urineafvoerwegen van het kind dient altijd een mictie-cysto-urethrogram te worden gemaakt en aanvullend een intraveneus urogram.
13. De stelling dat 'ter vaststelling van het zetmeelgehalte in aardappelen het wenselijk is een eenvoudige chemische bepaling in de plaats te stellen van de thans in de aardappelmeelindustrie gebruikelijke methode, welke berust op het bepalen van het soortelijk gewicht', is nog steeds van kracht.

J. Beuckens, Dissertatie Groningen, 1936.
14. De in de ziekenhuisbouw weerspiegelde opvatting dat zieke kinderen, en met name pasgeborenen, in kleine ruimten kunnen worden verpleegd, is alleen juist als men ervan uitgaat dat deze kinderen door dwergen worden behandeld.

Stellingen behorende bij het proefschrift 'Warmtehuishouding van pasgeborenen met een laag geboortegewicht' — A. Okken, 16 juni, 1976.

RIJKSUNIVERSITEIT TE GRONINGEN

**WARMTEHUISHOUDING
VAN PASGEBORENEN MET EEN LAAG GEBOORTEGEWICHT
EEN ONDERZOEK NAAR WARMTEPRODUKTIE EN WARMTEAFGIFTE
VAN PASGEBORENEN MET EEN LAAG GEBOORTEGEWICHT
IN EEN COUVEUSE MET WANDVERWARMING**

PROEFSCHRIFT

**TER VERKRIJGING VAN HET DOCTORAAT IN DE GENEESKUNDE
AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE GRONINGEN
OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS DR. M. J. JANSSEN
IN HET OPENBAAR TE VERDEDIGEN OP WOENSDAG 16 JUNI 1976
DES NAMIDDAGS TE 2.45 UUR PRECIES**

DOOR

ALBERT OKKEN
geboren te Winschoten

PROMOTORES : PROF. DR. J. H. P. JONXIS
PROF. DR. W. G. ZIJLSTRA

CO-REFERENT : DR. P. RISPENS

HEAT BALANCE IN LOW BIRTHWEIGHT BABIES

HEAT PRODUCTION AND HEAT LOSS OF LOW BIRTHWEIGHT BABIES IN AN INCUBATOR WITH HEATED WALLS

Het in dit proefschrift beschreven onderzoek vond plaats in de Kinderkliniek van het Academisch Ziekenhuis te Groningen en kwam dank zij de direkte en de indirecte hulp van velen tot stand. Aan allen betuig ik mijn dank, in het bijzonder aan: Prof. Dr. J. H. P. Jonxis, die mijn belangstelling voor de pasgeborene en voor dit onderzoek wekte; Prof. Dr. W. G. Zijlstra en Dr. P. Rispens die zo bewonderenswaardig rustig de tijd namen om vanuit hun visie diepgaand over het onderzoek te discussiëren; de heer S. A. Krans die niet alleen de couveuses bouwde maar ook vele technische adviezen gaf; mej. T. Fongers, Willem, Arno en Charles die bij de ijking van de apparatuur assisteerden; Zr. P. A. Schaafsma en haar medewerksters (-ers) van de prematuren- en zuigelingenafdeling die zo welwillend hun medewerking aan het onderzoek verleenden, en aan de artsen van deze afdeling die mij tijdens de metingen probeerden te sparen; de heer G. P. Meschendorp die de figuren voor het proefschrift tekende, Ir. J. P. Zock die de statistische berekeningen uitvoerde; mej. H. Marra en mevr. K. deBoer die het manuscript en de tabellen ondanks hun drukke werkzaamheden typten, mevr. C. M. Th. Kuipers-Wessels die de samenvatting in het engels wist te vertalen en de heer A. Huizer van de Medische Fotodienst zonder wiens hulp de omslag van het proefschrift niet tot stand was gekomen.

Het verschijnen van dit proefschrift werd mede mogelijk gemaakt door de financiële steun van de Jan Dekkerstichting en Dr. Ludgardine Bouwmanstichting, de Nederlandse Hartstichting, het Hippocrates Studiefonds en het Scholten Cordes Fonds.

INHOUD

Hoofdstuk 1	Inleiding	1
Hoofdstuk 2	Betekenis van de omgevingstemperatuur	5
2.1	Omgevingstemperatuur en mortaliteit	5
2.2	Neutrale omgevingstemperatuur van de pasgeborene	9
2.2.1	Kouderesponsie	9
2.2.2	Kritische omgevingstemperatuur	12
2.2.3	Neutrale omgevingstemperatuur	14
2.3	Temperatuur in de couveuse	17
Hoofdstuk 3	Warmteproductie	21
3.1	Bepaling van de warmteproductie	21
3.1.1	Energiewisseling	21
3.1.2	Direkte calorimetrie	22
3.1.3	Indirekte calorimetrie	22
3.1.4	Calorische waarde van voedingsstoffen	23
3.1.5	Calorische waarde van O ₂	23
3.1.6	Berekening van de warmteproductie uit O ₂ opname	24
3.1.7	Berekening van de warmteproductie uit O ₂ opname en CO ₂ afgifte.	24
3.1.8	Berekening van de warmteproductie uit O ₂ opname, CO ₂ afgifte en uitscheiding van N verbindingen	25
3.2	Warmteproductie van de pasgeborene	26
3.2.1	Basaalmetabolisme	26
3.2.2	O ₂ opname en warmteproductie van pasgeborenen gedurende de eerste levensweken	30
Hoofdstuk 4	Warmteafgifte	32
4.1	Wegen waarlangs warmteafgifte plaatsvindt	32
4.2	Warmteafgifte door straling	32
4.2.1	Straling van de huid	32
4.2.2	Direkte bepaling van de warmteafgifte door straling	33
4.2.3	Indirekte bepaling van de warmteafgifte door straling	33

4.3	Warmteafgifte door convectorie	34
4.3.1	Convectorie aan het huidoppervlak	34
4.3.2	Bepaling van de warmteafgifte door convectorie	35
4.4	Warmteafgifte door conductie	35
4.4.1	Conductie vanaf de huid	35
4.5	Warmteafgifte door verdamping	36
4.5.1	Verdamping vanaf de huid en uit de luchtwegen	36
4.5.2	Bepaling van de perspiratio insensibilis	39
4.5.3	Zweetsecretie	40
4.6	Warmteverlies aan het voedsel	40
Hoofdstuk 5	Methoden	41
5.1	Overzicht van de methode van onderzoek	41
5.2	Beschrijving van de proefopstelling	42
5.3	Bepaling van het klimaat in de couveuse	43
5.3.1	Bepaling van de wand- en luchttemperatuur	43
5.3.2	Bepaling van de vochtigheid van de couveuselucht	45
5.3.3	Bepaling van de luchtsnelheid in de couveuse	45
5.4	Bepaling van de warmteproductie van de pasgeborene in de couveuse uit O ₂ opname en CO ₂ afgifte	46
5.4.1	Beschrijving van de diaferometer in de proefopstelling	46
5.4.2	IJking van de diaferometer: inleiding	48
5.4.3	IJking van de diaferometer met uitademingsgas: theorie	50
5.4.4	IJking van de diaferometer met uitademingsgas: uitvoering	51
5.4.5	IJking van de diaferometer met uitademingsgas: resultaten	53
5.4.6	Berekening van de warmteproductie uit O ₂ opname en CO ₂ afgifte	54
5.5	Bepaling van de warmteafgifte van de pasgeborene in de couveuse	58
5.5.1	Wegen waarlangs warmteafgifte in de couveuse plaatsvindt	58
5.5.2	Bepaling van de warmteafgifte door straling en convectorie	59
5.5.3	Bepaling van de verdamping door middel van weging	59
5.5.4	Berekening van de warmteafgifte door verdamping uit de gewichtsvermindering, O ₂ opname en CO ₂ afgifte	60
Hoofdstuk 6	Resultaten	63
6.1	Gegevens van de bij het onderzoek betrokken pasgeborenen	63
6.2	Meetgegevens en de hieruit berekende waarden	65
6.3	Bewerking van de gegevens	65
6.3.1	Inleiding	65
6.3.2	Rectale temperatuur en abdominale huidtemperatuur	69

6.3.3	Couveusewand- en luchttemperatuur, vochtigheid van de cou- veuselucht	71
6.3.4	O ₂ opname en warmteproductie	73
6.3.5	Warmteafgifte door verdamping	74
6.3.6	Warmteafgifte door straling en convectie	75
Hoofdstuk 7	Discussie en conclusies	78
7.1	Discussie	78
7.1.1	Methoden van onderzoek	78
7.1.2	Klimaat in de couveuse	81
7.1.3	Warmteproductie	83
7.1.4	Warmteafgifte	86
7.2	Conclusies	91
Samenvatting	92
Summary	95
Literatuur	98
Lijst van symbolen en afkortingen	107

Hoofdstuk 1

INLEIDING

Pasgeborenen met een laag geboortegewicht worden, met name tijdens intensieve behandeling, vaak ongekleed in een couveuse verpleegd. In het algemeen maakt men hiervoor gebruik van een convectiecouveuse. Een convectiecouveuse is een couveuse waarin de temperatuur wordt geregeld door het meer of minder verwarmen van de couveuselucht. De verwarmde lucht stijgt spontaan op (natuurlijke convectie) of wordt door de couveuse geblazen (geforceerde convectie) (2.3). De temperatuur in de convectiecouveuse wordt afgelezen van een daarin aangebrachte thermometer. De vochtigheid van de couveuselucht kan eveneens worden geregeld. De couveusewanden zijn van doorzichtig perspex gemaakt teneinde het kind beter te kunnen observeren.

Aangezien de temperatuur in de couveuse van invloed is op de mortaliteit van de daarin verpleegde pasgeborenen (2.1), wordt deze nauwkeurig op het ingestelde niveau gehandhaafd. Als optimale temperatuur voor de verpleging van pasgeborenen neemt men meestal de neutrale omgevingstemperatuur van het betreffende kind. Onder de neutrale omgevingstemperatuur verstaat men die omgevingstemperatuur waarin de warmteproductie van het kind minimaal is en de lichaamstemperatuur alleen door vasoconstrictie en vasodilatatie kan worden gehandhaafd (2.2.3).

Hey en Mount^{63, 64} toonden aan dat de temperatuur in de convectiecouveuse niet adequaat wordt aangegeven door de daarin aangebrachte thermometer. Zij namen waar dat de temperatuur van de couveusewand meestal lager is dan de door de thermometer aangegeven temperatuur. Luchttemperatuur en wandtemperatuur zijn beide van invloed op de warmteafgifte van het zich in de couveuse bevindende kind. De warmteafgifte van het kind in de convectiecouveuse kan (bij lage wandtemperatuur) dan ook groter zijn dan men op grond van de op de thermometer afgelezen temperatuur vermoedt. Als hierdoor de warmteproductie van het kind toeneemt, teneinde de lichaamstemperatuur te handhaven, bevindt het kind zich niet in de gewenste neutrale omgevingstemperatuur. Hey en Mount toonden aan, dat bij het instellen van de couveusetemperatuur zowel met de luchttemperatuur als met de wandtemperatuur rekening moet worden gehouden. De couveusetempe-

ratuur waarin de bijdrage van de couveuselucht- en de wandtemperatuur is samengevat, noemden zij de operationele temperatuur (2.3). Hierbij moet worden opgemerkt dat de warmteafgifte van het kind in de couveuse niet alleen afhankelijk is van de lucht- en de wandtemperatuur, maar ook van de vochtigheid van de couveuselucht en de luchtsnelheid (2.3). De laatste twee factoren zijn in het begrip operationele temperatuur niet betrokken. Hey en Mount nemen aan, dat de operationele temperatuur in de convectiecouveuse geldt voor de heersende luchtsnelheid en een relatieve vochtigheid van 50%. Zij namen waar dat de operationele temperatuur in de convectiecouveuse afhankelijk is van de temperatuur van het vertrek waarin de couveuse staat opgesteld, dit als gevolg van de invloed hiervan op de temperatuur van de couveusewand. De operationele temperatuur in de couveuse is lager dan de couveuseluchttemperatuur naarmate de temperatuur van het vertrek lager is. Ook vonden zij dat de neutrale omgevingstemperatuur voor ongeklede pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht (< 1.5 kg) in de convectiecouveuse niet zonder meer kan worden bereikt. Dit als gevolg van de (wettelijk vastgestelde) beperking van de maximale couveuseluchttemperatuur. Als hulpmiddelen ter verhoging van de operationele temperatuur in de couveuse, worden een dubbele perspex wand en het perspex warmteschild toegepast. Deze hebben tot doel de invloed van de kamertemperatuur op de temperatuur van de binnenzijde van de couveusewand te beperken. Daar de temperatuur in de convectiecouveuse alleen geregeld wordt door verwarming van de lucht en de temperatuur van de couveusewand meestal niet bekend is, dient men zich te realiseren dat ook deze hulpmiddelen niet garanderen dat pasgeborenen en zuigelingen werkelijk in de neutrale omgevingstemperatuur worden verpleegd. Meting van wand- en luchttemperatuur is hiertoe vereist.

Het ligt voor de hand om de invloed van de kamertemperatuur op de temperatuur van de couveusewand tegen te gaan. Dit is op verschillende manieren mogelijk. In de eerste plaats kan de kamertemperatuur worden verhoogd. Meestal wordt een kamertemperatuur van $24-28^{\circ}\text{C}$ aangehouden, enkelen¹³⁰ verhogen de kamertemperatuur tot $30-32^{\circ}\text{C}$. Deze temperatuur verdient de voorkeur, doch dit vraagt aanpassing van hen die hierin werken, en een nauwkeurige regeling van de (niet te hoge) vochtigheid in het vertrek. In een aantal gevallen is het verhogen van de kamertemperatuur tot 32°C niet voldoende. Dit geldt met name voor pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht (< 1.5 kg), die ook dan nog door de invloed van de kamertemperatuur op de temperatuur van de couveusewand in een te koude omgeving liggen.

Naast het verhogen van de kamertemperatuur is het in de tweede plaats mogelijk om de couveusewand extra te verwarmen. Een voorbeeld hiervan is de wandverwarming van de voor experimenten gebruikte klimaatkamertjes. Door water van een bepaalde temperatuur door een dubbele wand te laten stromen, is de temperatuur van de wand te regelen. Deze methode is in het laboratorium goed te gebrui-

ken, maar in de kliniek moeilijk toepasbaar. Agate en Silverman³ maakten gebruik van elektrische verwarmingsdraden, die, tegen het bovenste perspexvlak van de couveuse geplaatst, tot doel hadden het in de couveuse liggende kind te verwarmen. In feite is hier sprake van verwarming van een gedeelte van de couveusewand; er wordt van één zijde (infrarode) straling aan het kind toegevoerd. Eenzijdige bestraling met als doel verwarming van het kind wordt ook toegepast bij de *neonatal cradle warmer*, een bedje met een verwarmd koepeltje erboven, en bij verschillende opstellingen in gebruik voor de resuscitatie van pasgeborenen (resuscitatietafels). Bij deze bestraling doet zich het probleem voor dat vrijwel niet is na te gaan in welke omgevingstemperatuur het kind zich bevindt. Zowel te lage als te hoge temperatuur zijn hier mogelijk. Ook indien de hoeveelheid straling wordt geregeld met behulp van een op de huid aangebrachte temperatuuropnemer (*servo controlled system*), is men er evenmin zeker van dat het kind zich in de neutrale omgevingstemperatuur bevindt. De lichaamstemperatuur van het kind hangt immers zowel van de eigen warmteproductie als van de toegevoerde straling af. Het toevoeren van warmte door straling houdt niet noodzakelijk de eigen warmteproductie laag. Wu en Hodgman¹⁴³ vonden dat de verdamping toeneemt indien pasgeborenen eenzijdig worden bestraald. Zij namen een toename van de verdamping van 50–190% waar bij eenzijdige bestraling van pasgeborenen in een omgeving met een luchttemperatuur van 28°C in vergelijking met de verdamping van dezelfde pasgeborenen in een convectie-couveuse. Extra vocht- en warmteverlies door verdamping traden hier dus op.

Het is merkwaardig dat gelijkmatige (extra) verwarming van alle zich rond het kind in de couveuse bevindende wanden in de kliniek vrijwel niet in gebruik is. Door gelijkmatige verwarming van alle couveusewanden kan men ermee volstaan de wandtemperatuur naast de luchttemperatuur gelijk te maken aan de neutrale omgevingstemperatuur. Door het aanbrengen van een verwarmde wand om het kind wordt de noodzaak het kind door straling gedeeltelijk te verwarmen, vermeden. In de Groningse Kinderkliniek zijn couveuses in gebruik die cilindervormig zijn en waarvan de perspexwand aan de buitenzijde met behulp van verwarmingsdraden extra wordt verwarmd. De temperatuur in de couveuse wordt afgelezen op een zich tegen de binnenzijde van de wand bevindende thermometer. De temperatuur van de lucht wordt bij de inlaat naar de couveuse gecontroleerd. De relatieve vochtigheid van de lucht in de couveuse bedraagt zonder bevochtiging van het naar de couveuse toegevoerde gasmengsel 30–50%. Bevochtigers worden niet gebruikt, omdat deze een bron van bacteriële besmetting kunnen zijn⁴¹. Belangrijke verschilpunten tussen de conventionele convectiecouveuse en de couveuse in gebruik in de Groningse Kinderkliniek zijn dus de vorm van de couveuse, de extra verwarming van de couveusewand van buitenaf en het niet bevochtigen van het naar de couveuse toegevoerde gasmengsel, terwijl de luchtsnelheid in de couveuse zéér laag is. Het niet bevochtigen van het naar de couveuse toegevoerde gasmengsel deed de vraag rijzen of hierdoor de warmteafgifte van het kind door verdamping in de couveuse zodanig

zou toenemen, dat de gunstige invloed van de warme wand op de warmteafgifte van het kind weer teniet werd gedaan. In de praktijk is de gewichtsvermindering van de pasgeborenen in de eerste levensdagen (vochtverlies) verpleegd in deze couveuse niet groter dan van pasgeborenen die ongekleed in een bedje worden verpleegd. De gewichtsvermindering in de eerste levensdagen is echter zeer afhankelijk van de toegediende hoeveelheid vocht en daardoor een slechte maat voor vergelijking. Bepaling van de verdamping van het kind is hiertoe vereist.

Vragen zoals in het bovenstaande beschreven waren aanleiding tot een onderzoek naar de warmtehuishouding van pasgeborenen verpleegd in de Groningse couveuse. De vraagstelling van het onderzoek was tweeledig:

1. Hoe groot is de warmteproductie van pasgeborenen van verschillend geboortegewicht verpleegd in de Groningse couveuse bij neutrale omgevingstemperatuur?
2. Hoe groot is de *droge* warmteafgifte (warmteafgifte door straling en convectie) en de *natte* warmteafgifte (warmteafgifte door verdamping) van pasgeborenen van verschillend geboortegewicht verpleegd in deze couveuse?

Voor metingen werd de periode van de eerste twee levensweken gekozen, omdat juist in deze periode de neutrale omgevingstemperatuur het hoogst is en in de convectiecouveuse zonder hulpmiddelen meestal niet wordt bereikt. Aangezien het vaak niet mogelijk is in deze periode voldoende energie (voeding) aan het kind toe te voeren en de energievoorraad van de pasgeborene met een laag geboortegewicht gering is, moet onnodig verlies van energie (warmteafgifte) worden vermeden. Er werd bij het onderzoek niet naar gestreefd om de metingen onder standaardkondities (3.2.1) te verrichten, zodat deze afwijken van de omstandigheden waaronder het basaalmetabolisme van volwassenen wordt gemeten.

Hoofdstuk 2

BETEKENIS VAN DE OMGEVINGSTEMPERATUUR

2.1 Omgevingstemperatuur en mortaliteit

De lichaamstemperatuur van de naakte pasgeborene daalt in een omgeving waarvan de temperatuur voor volwassenen aangenaam is. Deze ervaring moet reeds zeer lang geleden zijn opgedaan, want sinds eeuwen worden pasgeborenen, al naar het volksgebruik, gewikkeld in vellen of doeken op een warme plaats gelegd. Prematuren* overleden vroeger meestal. Hoewel reeds uit de 17e eeuw bekend is dat een premature in een verwarmde oven geplaatst in leven bleef en opgroeide tot een eerzaam burger⁸⁹, duurde het tot de eerste helft van de 19e eeuw voordat Doepp³⁶ en Goedecken en Fürst⁸⁹ vonden dat de mortaliteit van prematuren afnam, indien men ze in een continu verwarmde wieg legde. In de loop van de 19e eeuw werden, met wisselend resultaat, in verschillende klinieken in Europa verwarmde wiegen, naar eigen ontwerp, in gebruik genomen. Rond 1900 toonde Budin²⁷ aan, dat er bij prematuren een relatie bestond tussen mortaliteit en lichaamstemperatuur. Budin²⁷ verpleegde prematuren in een op een broedkast gelijkende, vrijwel gesloten, verwarmde houten kist met glazen deksel, couveuse genoemd. De temperatuur in deze couveuse was 25–30°C. Budin²⁷ vond een mortaliteit van 98% bij pasgeborenen met een geboortegewicht lager dan 2.0 kg, indien de rectale temperatuur lager was dan 32°C. De mortaliteit was 90% indien de rectale temperatuur 32–35°C was, en slechts 23% indien de rectale temperatuur normaal was. Welke waarde men aan de waarnemingen van Budin²⁷ in die tijd toekende, valt moeilijk te zeggen. Zij hadden tot gevolg dat Couney⁸⁹, op verschillende wereldtentoonstellingen (o.a. Berlijn 1896, Londen 1897, Buffalo 1901, Chicago 1914, New York 1939), couveusezalen ging inrichten. Aanvankelijk werden voor deze tentoonstellingen prematuren – deze overleden immers toch – door lokale ziekenhuizen ter beschikking gesteld en in de couveuses verpleegd. Tijdens de tentoonstellingen zou geen der prematuren zijn

* In het verleden werden te vroeg geboren en pasgeborenen met een laag geboortegewicht prematuren genoemd.

overleden. De couveuse werd op deze wijze in de gehele wereld bekend en de belangstelling voor de omgevingstemperatuur van de premature werd gewekt.

Belangrijk onderzoek werd verricht door Blackfan en Yaglou¹⁵. Van 1926 tot 1933 onderzochten zij systematisch de invloed van de temperatuur en de vochtigheid van de lucht op de lichaamstemperatuur en de mortaliteit van prematuren. Zij bouwden een klimaatkamer waarin de temperatuur en de vochtigheid van de lucht bij konstante lichtsnelheid nauwkeurig werd geregeld. Prematuren werden in deze klimaatkamer in bedjes, gekleed en voorzien van een deken, verpleegd. Kleine prematuren werden in enkele gevallen extra verwarmd. De temperatuur en de vochtigheid van de lucht in de klimaatkamer werden onafhankelijk van elkaar gevarieerd. Blackfan en Yaglou namen waar dat de lichaamstemperatuur van prematuren (gewicht 1.4–2.3 kg) slechts 1–2°C schommelde bij 25°C en 65% relatieve vochtigheid. Indien de vochtigheid van de lucht werd verlaagd tot 30%, moest de luchttemperatuur worden verhoogd van 25 tot 26.7°C, om te voorkomen dat de lichaamstemperatuur meer dan 1–2°C schommelde. Bij prematuren die verscheidene weken bij een vochtigheid van 30% werden verpleegd, waren de schommelingen in de lichaamstemperatuur voortdurend groter dan bij een vochtigheid van 65%. De rectale temperatuur bedroeg gemiddeld 36.6°C. Schommelingen in de rectale temperatuur van prematuren werden in die tijd als een gevaar voor het kind beschouwd. Op de niet-geklimatiseerde verpleegafdelingen werden veel grotere schommelingen in de rectale temperatuur van prematuren waargenomen, waarschijnlijk ten gevolge van grotere veranderingen in de omgevingstemperatuur. Volgens de auteurs varieerde de temperatuur gemeten in het bed, maar buiten de dekens, van 17.2–37.7°C. De mortaliteit van prematuren in de klimaatkamers was aanzienlijk lager dan van prematuren in de conventionele, niet-geklimatiseerde verpleegafdeling. Volgens Blackfan en Yaglou bedroeg de *net mortality*¹⁵ (aantal overledenen minus de onvermijdelijk en jonger dan 48 h overledenen) in de niet-geklimatiseerde afdeling 28.9%. In de klimaatkamer was de *net mortality* 14.5% bij 25–49% relatieve vochtigheid en 0.7% bij 50–75% relatieve vochtigheid. Blackfan en Yaglou zagen dus, dat de vochtigheid van de lucht van grote invloed was op de mortaliteit van enkele dagen oude pasgeborenen. Deze daling van de mortaliteit door het verhogen van de vochtigheid van de lucht was, mede gezien de latere bevindingen van Silverman en Blanc¹¹⁸ onwaarschijnlijk hoog en kan het gevolg zijn van het gebruik van het begrip *net mortality*¹⁵.

De waarnemingen van Blackfan en Yaglou¹⁵ zijn waarschijnlijk mede van invloed geweest op de verdere ontwikkeling van de couveuse. In die tijd waren er couveuses met verschillende verwarmingssystemen in gebruik. Voor verwarming werd onder meer gebruik gemaakt van verwarming van de couveuselucht met kooldraadlampen of met kruiken aangebracht in de bodem van de couveuse, zodat warme lucht in de couveuse opsteeg (convectie). Ook gebruikte men wel een verwarmde dubbele metalen couveusewand (waterbad) waarbij het kind dus voor-

namelijk door straling werd verwarmd. Afgezien van vele andere problemen was de regeling van de verwarming in de verschillende couveuses gebrekkig. De waarnemingen van Blackfan en Yaglou die wezen op het belang van de temperatuur en de vochtigheid van de lucht om het kind, hebben waarschijnlijk tot gevolg gehad dat men voornamelijk couveuses ging gebruiken waarin alleen de lucht werd verwarmd en bevochtigd (convectiecouveuse). Een van de bekendste typen is de omstreeks 1940 door Chapple⁸⁹ ontworpen couveuse (Isolette), waarvan de wanden geheel doorzichtig waren, zodat het kind goed geobserveerd kon worden en waarin de temperatuur en de vochtigheid van de lucht als in een kleine klimaatkamer nauwkeurig werden geregeld. Het gebruik van gassen uit cylinders (O_2) in dergelijke couveuses (1943) heeft ertoe geleid dat de vochtigheid van de couveuselucht uit vrees voor het uitdrogen van de slijmvliezen van de luchtwegen, zo hoog mogelijk werd opgevoerd^{10, 126}.

Ter preventie en ter behandeling van de bij de prematuur gevreesde longaandoening, de hyaliene membranenziekte, werd omstreeks 1950 een gunstig effect verwacht van het aanbrengen van extra bevochtigers in de couveuse (mist-therapie). vele klinieken prematuren in extra bevochtigde couveuses. Over de temperatuur, die in de couveuse moest worden gehandhaafd, bestond geen eensluidende mening. Het was gebruikelijk¹²⁵ prematuren bij opneming in de couveuse eerst te verwarmen tot de rectale temperatuur ongeveer $37^{\circ}C$ bedroeg, en daarna de couveusetemperatuur zodanig in te stellen dat de rectale temperatuur van het kind meestal op een subnormaal niveau, stabiel bleef. Men veronderstelde dat hypothermie (rectale temperatuur lager dan $36.0^{\circ}C$)¹²⁵ verlaging van het metabolisme van het kind tot gevolg had, waardoor de overlevingskans zou toenemen. Hypothermie en stabiele rectale temperatuur werden bereikt door het verlagen van de couveusetemperatuur. Enkel combineerden het verlagen van de omgevingstemperatuur met het toedienen van medikamenten die de lichaamstemperatuur doen dalen. Lacomme et al.⁷⁸ gebruikten hiervoor chloorprozamine. Bij prematuren en pasgeborenen met pathologische afwijkingen handhaafden deze auteurs de rectale temperatuur gedurende dagen tot weken op $33-34^{\circ}C$ (kunstmatige winterslaap). De klinische toestand van de patiënten zou tijdens de kunstmatige winterslaap verbeteren. Verlaging van de mortaliteit werd niet aangetoond. Hoewel de kunstmatige winterslaap weinig navolging vond, werd lichte hypothermie van de prematuur (rectale temperatuur $34.5-36.0^{\circ}C$) wel noodzakelijk gevonden en door velen toegepast. C. A. Smith¹²⁵ schreef hierover in 1959: *It is obvious that the smaller and younger the organism, the less will its body temperature maintain uniformity under sudden environmental changes, so that premature infants often overshoot the desired mark when too much heat is afforded them by mechanical devices or even by too many wrappings. Thus a rise of several degrees above the proposed 'normal' may follow the injudicious use of hot water bottles or blankets. The program of allowing stabilization at 'subnormal' temperatures prevents this type of useless and perhaps harmful fluctuations.*

Belangrijk onderzoek naar het effect op de mortaliteit, van het in die tijd gehanteerde regiem voor de behandeling van prematuren in couveuses, vond in 1955 en de daaropvolgende jaren plaats. Briggs²⁰ en Silverman en Andersen^{116, 117} toonden met behulp van *controlled clinical trials* aan, dat extra bevochtiging van de couveuse (mist-therapie), in tegenstelling tot de verwachtingen, geen invloed had op de mortaliteit van prematuren. Wel vonden Silverman en Blanc¹¹⁸ dat bij een couveusetemperatuur van 29°C (afgelezen op de in de couveuse aanwezige thermometer) de mortaliteit van prematuren met een gewicht van 1.1–1.8 kg gedurende de eerste vijf levensdagen afhankelijk was van de relatieve vochtigheid in de couveuse. De *standardized mortality rate*¹¹⁹ bedroeg bij 29°C en 30–60% relatieve vochtigheid 58% en bij 80–90% relatieve vochtigheid 43%. Silverman en Blanc¹¹⁸ vonden ook, dat de axillaire temperatuur van de prematuren bij 80–90% relatieve vochtigheid 0.6°C hoger was dan bij 30–60% relatieve vochtigheid. Ze vroegen zich af of de daling van de mortaliteit het gevolg was van het verhogen van de vochtigheid van de lucht, of van de hogere lichaamstemperatuur. Silverman, et al.^{120, 121} konden in 1958 aantonen dat de mortaliteit bij een couveusetemperatuur van 31.7°C weer aanzienlijk lager was (tabel 1) dan bij 28.9°C. De relatieve vochtigheid in de couveuses was bij beide temperaturen 80–90%. Silverman et al.^{118, 120, 121} namen dus waar dat een verdere verhoging van de couveusetemperatuur een verdere daling van de mortaliteit van prematuren tot gevolg heeft. In tegenstelling tot het onderzoek van Blackfan en Yaglou¹⁵, dat in een klimaatkamer werd verricht, vond het onderzoek van Silverman et al.^{118, 120, 121} plaats in reeds veel in gebruik zijnde convectiecouveuses. Het toonde aan, dat verpleging in deze couveuses niet zonder meer een optimale behandeling is, een verschil van 2.8°C in de couveuse bleek immers van aanzienlijke invloed op de mortaliteit van de prematuren. Jolly et al.⁷¹ konden de waarnemingen van Silverman et al.^{118, 120, 121} bevestigen, alhoewel zij een geringere invloed op de mortaliteit vonden (tabel 1).

Het is dus aangetoond, dat de mortaliteit bij een omgevingstemperatuur lager dan 32° afhankelijk is van de omgevingstemperatuur. Verschillende onderzoekers gingen, mede door de bevindingen van Brück et al.²⁵, hierna een stap verder door de relatie van mortaliteit en omgevingstemperatuur na te gaan bij temperaturen hoger dan 32°C. Day et al.³⁵ en Buetow en Klein²⁸ brachten in een couveuse waarvan de temperatuur 31.5°C was, een extra warmtebron aan waarmee de huidtemperatuur van de buik van het kind op 36°C werd gehandhaafd en namen weer een daling van de mortaliteit waar (tabel 1). Yashiro et al.¹⁴⁴ konden deze waarnemingen niet bevestigen. Zij vonden dat indien het kind door straling zodanig werd verwarmd dat de huidtemperatuur van de buik op 36.1°C werd gehandhaafd, de mortaliteit toenam ten opzichte van de mortaliteit in een couveuse van 32°C (controlegroep). Hierbij moet worden opgemerkt dat de mortaliteit van de controlegroep van Yashiro et al.¹⁴⁴ aanzienlijk lager is dan bij Day et al.³⁵. Yashiro et al.¹⁴⁴ vonden een aanzienlijke stijging van de mortaliteit bij een huidtemperatuur

van de buik van 37.2°C. Ook zagen zij een verdubbeling van de mortaliteit optreden indien de temperatuur in een couveuse van 32° tot 34°C werd verhoogd (tabel 1). Bij 33% van de pasgeborenen (1.0–1.9 kg) die bij 34°C werden verpleegd steeg de rectale temperatuur boven 37.8°C, daarentegen was de rectale temperatuur van 11% van de pasgeborenen die bij 32°C werden verpleegd lager dan 35°C. Door het werk van de verschillende onderzoekers is duidelijk aangetoond, dat de mortaliteit van pasgeborenen zowel door te lage als te hoge omgevingstemperatuur ongunstig wordt beïnvloed. De omgevingstemperatuur met de laagste mortaliteit kan evenwel niet zonder meer uit de beschikbare gegevens worden afgeleid. Niet vermelde factoren, zoals kleding, temperatuur van het vertrek waarin de couveuse stond opgesteld en verschillen in medische behandeling, maken een onderlinge vergelijking onmogelijk. Het is duidelijk dat alle factoren die van invloed zijn op de warmtehuishouding van de pasgeborene en het klimaat in de couveuse bekend moeten zijn, wil men tot een zinvolle vergelijking komen.

2.2 Neutrale omgevingstemperatuur bij de pasgeborene

2.2.1 Kouderesponsie

De lichaamstemperatuur van prematuren en pasgeborenen met een laag geboortegewicht daalt in een koude omgeving meer en blijft gedurende een langere periode op een lager niveau dan bij normale pasgeborenen het geval is. Raudnitz¹⁰⁸ toonde dit aan het einde van de vorige eeuw reeds op eenvoudige wijze aan door een pasgeborene met een normaal en een pasgeborene met een laag geboortegewicht kortdurend in water van 25°C te dompelen. Op de eerste levensdag was de rectale temperatuur van de normale pasgeborene 80 min. na onderdompeling 35.1°C, op de tweede levensdag 50 min. na onderdompeling 36.9°C. Pas op de vierde levensdag bleek de rectale temperatuur van de pasgeborene met het lage geboortegewicht 80 min. na onderdompeling iets te stijgen. Waarnemingen zoals van Raudnitz¹⁰⁸ en van anderen⁴¹ gaven grond aan de opvatting dat prematuren niet in staat waren de lichaamstemperatuur te handhaven op hetzelfde niveau als normale pasgeborenen en volwassenen. Men veronderstelde dat de temperatuurregulatie van prematuren in vergelijking met die van normale pasgeborenen en volwassenen onvoldoende was ontwikkeld door onrijpheid van het zenuwstelsel⁹⁷. Veranderingen in de omgevingstemperatuur hadden daardoor bij prematuren grotere veranderingen in de lichaamstemperatuur tot gevolg; dit werd als een normaal verschijnsel aanvaard. Reeds lang was bekend, dat de warmteproductie bij volwassen mensen en (homoiotherme) dieren toeneemt wanneer de lichaamstemperatuur door afkoeling beneden de normale waarde daalt. De toename van de warmteproductie bij dalende li-

Tabel 1. Invloed van de omgevingstemperatuur op de mortaliteit van pasgeborenen

Auteur	Omschrijving experiment	Lichaamsgewicht (kg)	Mortaliteit		Verandering mortaliteit (%)
			Controlegroep (%)	Exp. groep (%)	
Budin ²⁷ (1900)	Couveusetemperatuur zodanig dat rectale temperatuur werd gehandhaafd op < 32° C	< 2,0	98		
	In vergelijking met groep < 32° C 32–35° C	< 2,0		91	– 8
	> 35° C	< 2,0		23	– 77
Blackfan en Yaglou ¹⁵ (1933)	Controlegroep in conventionele verpleegafdeling, gekleed in bedjes.	< 1.36	91	68	– 25
	Experimentele groep in klimaatkamer in 25° C en 65% rel. vochtigheid, gekleed in bedjes.	1.4–1.8	44	34	– 23
		> 1.8	39	27	– 31
Silverman et al. ¹²¹ (1958)	Controlegroep in couveuse, in 28.9° C en 80–90% rel. vochtigheid.	1.0–1.5	23	14	– 39
	Experimentele groep in couveuse, in 31.7° C en 80–90% rel. vochtigheid.	> 1.5	21	7	– 67
Jolly et al. ⁷¹ (1962)	Controlegroep in couveuse, in 29.4° C en 100% rel. vochtigheid.	1.0–1.5	55	43	– 22
	Experimentele groep in couveuse in zodanige couveusetemperatuur dat de rectale temperatuur werd gehandhaafd op 35.6–37.2° C bij 100% rel. vochtigheid.	1.5–2.0	19	14	– 26
Day et al. ³⁵ (1964)	Controlegroep in couveuse in 31.8° C en 60–90% rel. vochtigheid	1.0–1.4	44	23	– 48
	Experimentele groep in couveuse in 31.8° C en 60–90% rel. vochtigheid met zodanige extra verwarming (straling) dat de temperatuur van de buikhuid op 35.9–36.2° C konstant werd gehouden.	1.4–1.8	21	11	– 48

Buetow en Klein ²⁸ (1964)	Experiment als bij Day et al.	1.0–1.5	45	35	– 22
Yashiro et al. ¹⁴⁴ (1973)	Controlegroep in couveuse in 32° C en 50% rel. vochtigheid.	< 2.0	17	36	+ 112
	Experimentele groep in couveuse in 34° C en 50% rel. vochtigheid.				
	Controlegroep in couveuse in 32° C en 50% rel. vochtigheid.				
	Experimentele groep in bedje in 25° C en 40–60% rel. vochtigheid met zodanige extra verwarming (straling van bovenaf) dat de temperatuur van de buikhuid werd gehandhaafd op:				
	36.1° C	< 2.0	17	25	+ 47
	36.7° C	< 2.0	17	20	+ 18
	37.2° C	< 2.0	17	36	+ 112

chaamstemperatuur wordt kouderesponsie genoemd en stelt het lichaam in staat zijn temperatuur boven de omgevingstemperatuur te houden. De omgevings-temperatuur waarbij afkoeling van het lichaam optreedt, hangt uiteraard af van de aanwezigheid van een warmte-isolerende laag (kleding, pels) om het lichaam.

In 1919 vond Leichentritt⁸⁰ dat pasgeboren zoogdieren onder bepaalde kondities pas na enkele dagen tot weken in staat zijn hun lichaamstemperatuur te handhaven. Pasgeboren katten en honden met een normaal geboortegewicht konden onder deze kondities hun lichaamstemperatuur dankzij een sterkere kouderesponsie eerder handhaven, dan dezelfde dieren met een laag geboortegewicht. Deze hadden hiervoor extra verwarming nodig. Geïnspireerd door het werk van Leichentritt ver-richtte Mordhorst⁹⁷ in 1932 onderzoek naar kouderesponsie bij pasgeborenen, waarover toen nog niets bekend was. Met de waarneming dat de zuurstofopname van pasgeborenen bij lagere omgevingstemperatuur toeneemt, toonde hij als eerste de kouderesponsie aan. Hij zag tevens dat de rectale temperatuur van prematuren in een koude omgeving ondanks de kouderesponsie meer daalt dan de rectale temperatuur van normale pasgeborenen. Mordhorst⁹⁷ konkludeerde hieruit, dat *frühgeborene gegenüber normalgeborenen und schwachgeborenen Säuglingen eine stärke Labilität ihrer wärmeregulatorischen Fähigkeiten aufweisen*, een bevestiging van de toen heersende opvatting. Mordhorst⁹⁷ benadrukte toen al, dat *für diese Kinder bereits das unbekleidet liegen in einer Umgebungstemperatur von 19.5–25.9°C einen deutlichen Kältereiz bedeutet*. Day et al.³⁴ verrichten in 1943 verder onderzoek naar de labiliteit van de lichaamstemperatuur bij prematuren. Bij 25 prematuren werd de warmteafgifte bepaald (caloriemeter) bij een omgevings-temperatuur van 26–43°C. Het bleek dat de warmteproductie bij 26°C aanzienlijk hoger was dan bij 34°C. Dat de lichaamstemperatuur van prematuren ondanks de kouderesponsie in een koude omgeving daalt werd door Day et al.³⁴ toegeschreven aan grotere warmtegeleiding door het lichaam en een relatief groter huidoppervlak. Waarschijnlijk kregen de waarnemingen van Mordhorst en Day et al. niet de aandacht die zij verdienden. Het duurde tot ongeveer 1960 voordat Brück²² opnieuw de aandacht vestigde op de kouderesponsie van normale en premature pasgeborenen.

2.2.2 Kritische omgevingstemperatuur

Bij de kritische omgevingstemperatuur wordt onderscheid gemaakt tussen een laagste en een hoogste kritische omgevingstemperatuur. De laagste kritische omgevings-temperatuur is door Bligh en Johnson¹⁶ gedefinieerd als *the ambient temperature below which the rate of metabolic heat production of a resting thermoregulating animal increases by shivering and/or non shivering thermogenic processes to maintain thermal balance*. De laagste kritische omgevingstemperatuur wordt dus gevon-

den door na te gaan bij welke omgevingstemperatuur de kouderesponsie optreedt. De laagste kritische omgevingstemperatuur bedraagt voor ongeklede volwassenen $26-30^{\circ}\text{C}$ ^{39, 44, 141}. Voor pasgeborenen zijn hogere waarden gevonden. Brück²³ en Brück et al.²⁵ vonden, dat de laagste kritische omgevingstemperatuur van prematuren (1.1–2.2 kg lichaamsgewicht) op de eerste levensdag 30°C is, en in de daaropvolgende levensweek 32°C . Mestyan et al.⁹² vonden dat de laagste kritische omgevingstemperatuur voor prematuren van 1.0–2.0 kg lichaamsgewicht $34.5^{\circ}\text{C}-36^{\circ}\text{C}$ bedraagt. Uit de gegevens van Adamsons et al.² volgt dat de laagste kritische omgevingstemperatuur voor pasgeborenen met een normaal geboortegewicht en jonger dan 4 h 35°C is. Scopes en Ahmed¹¹³ vonden dat de laagste kritische omgevingstemperatuur voor prematuren lichter dan 1.5 kg op de eerste levensdag $33-35^{\circ}\text{C}$ bedraagt en daarna $33-34^{\circ}\text{C}$. Voor prematuren zwaarder dan 1.5 kg op de eerste levensdag $33-34^{\circ}\text{C}$, dalend in de eerste levensweek tot $31-33^{\circ}\text{C}$. Het is duidelijk dat er grote verschillen in de laagste kritische omgevings-temperatuur zijn gevonden, die niet alleen toegeschreven kunnen worden aan het verschil in lichaamsgewicht en leeftijd van de pasgeborenen. Meestal niet vermelde factoren, zoals hoeveelheid kleding, temperatuur van het vertrek waarin de metingen werden verricht, kunnen de uitkomst beïnvloeden zodat een onderlinge vergelijking onmogelijk is.

Hey⁵⁹ bepaalde de laagste kritische omgevingstemperatuur van een groep prematuren en à terme pasgeborenen in een proefopstelling waarin de temperatuur van de wand, de lucht, de luchtsnelheid en de vochtigheid afzonderlijk werden bepaald. Metingen werden zowel bij ongeklede als bij geklede pasgeborenen gedurende de eerste vier levensweken verricht (fig. 1). Na de eerste levensdag was de laagste kritische omgevingstemperatuur voor ongeklede pasgeborenen van 1.0 kg lichaamsgewicht 35°C , voor pasgeborenen van 3.0 kg lichaamsgewicht 33°C . Gedurende de eerste levensmaand nam dit verschil geleidelijk af. Aan het eind van de eerste maand bedroeg de laagste kritische omgevingstemperatuur voor beide groepen ongeveer 32°C . Het is opvallend dat de laagste kritische omgevingstemperatuur van geklede pasgeborenen van 1.0 kg lichaamsgewicht ondanks het warmteïssolerend vermogen van de kleding op de eerste levensdag 30°C bedraagt. Dit is hoger dan de laagste kritische omgevingstemperatuur van ongeklede volwassenen. Uit deze gegevens komt duidelijk naar voren dat de voor de geklede volwassene comfortabele kamertemperatuur van ongeveer 20°C ver beneden de laagste kritische omgevings-temperatuur van de pasgeborene ligt. Een kamer van 20°C is voor de geklede normale pasgeborene een koude omgeving. Indien de in de dagelijkse praktijk thuis aangebrachte warmteïsolatie (kleding, dekens) en toevoer van warmte van buitenaf (kruiken) het kind onvoldoende verwarmen, zal een kouderesponsie optreden om de lichaamstemperatuur te handhaven.

De hoogste kritische omgevingstemperatuur is door Bligh en Johnson¹⁶ gedefinieerd als *the ambient temperature above which thermoregulatory evaporative heat*

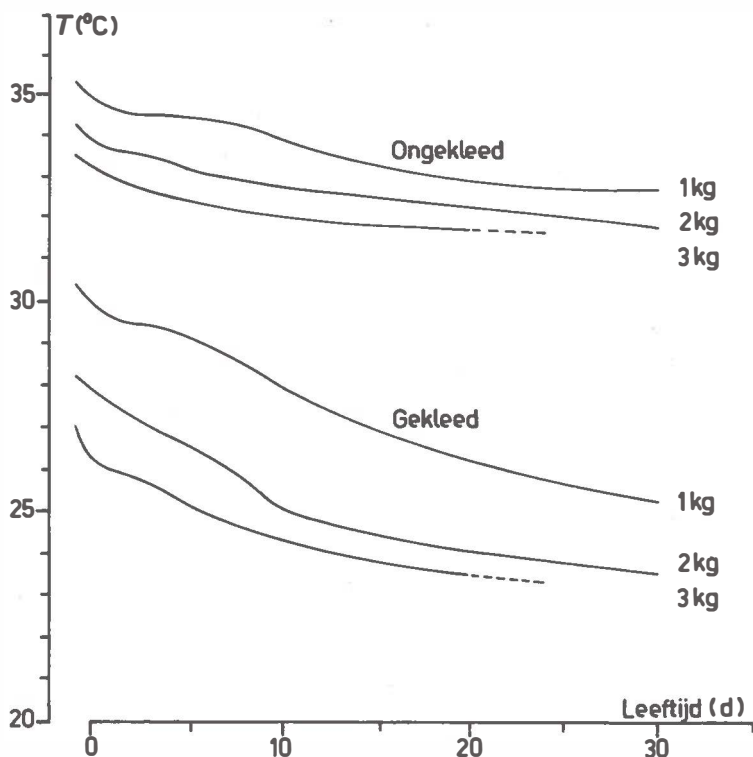


Fig. 1 Laagste kritische omgevingstemperatuur volgens Hey⁵⁹ voor pasgeborenen en zuigelingen van 1, 2 en 3 kg geboortegewicht in afhankelijkheid van de leeftijd.

loss processes (e.g. thermal tachypneu, sweating) of a resting thermoregulating animal are recruited. Synonym: The ambient temperature above which there is an increase in metabolic rate due to a rise in core temperature of a resting thermoregulating animal. De hoogste kritische omgevingstemperatuur is bij pasgeborenen, afgaande op de verdamping (zweeten, perspiratio insensibilis), moeilijker te bepalen dan bij volwassenen. De zweetsecretie is bij premature pasgeborenen bijvoorbeeld veel geringer dan bij volwassenen, en hyperthermie kan optreden zonder zichtbare zweetsecretie. In individuele gevallen, wanneer de hoogste kritische omgevingstemperatuur niet bepaald kan worden, controleert men of de couveusetemperatuur te hoog is door af te gaan op de lichaamstemperatuur van het kind. Volgens Hey en Katz⁶⁶ is een rectale temperatuur van 36.8–37.2°C normaal.

2.2.3 Neutrale omgevingstemperatuur

De neutrale omgevingstemperatuur is door Bligh en Johnson¹⁶ gedefinieerd als the

range of ambient temperature within which the metabolic rate is at a minimum and within which temperature regulation is achieved by non-evaporative physical processes alone (onder *non-evaporative physical processes* verstaan zij vasoconstrictie en vasodilatatie). Het traject van de neutrale omgevingstemperatuur omvat een gebied van enkele °C. Het feit, dat de omgevingstemperatuur over een traject van enkele graden geen invloed heeft op de warmteproductie, hangt samen met het vermogen om de kern van het lichaam door vasoconstrictie en vasodilatatie ten opzichte van de schil te verkleinen of te vergroten. Dit heeft tot gevolg dat de warmteafgifte kleiner of groter wordt.

De temperatuur is in de kern van het lichaam het hoogst (centrale lichaams-temperatuur). De temperatuur van de schil bevindt zich tussen die van de kern en de omgeving in. Warmte wordt voor een belangrijk deel door de bloedstroom van de kern naar de schil getransporteerd. Vasoconstrictie en vasodilatatie beïnvloeden het warmtetransport van de kern naar de schil. In een omgeving waarin vasoconstrictie optreedt, wordt de (isolerende) schil van het lichaam groter en neemt de warmteafgifte af. Bij maximale vasodilatatie omvat de kern vrijwel het gehele lichaam en is de schil zeer klein (epidermis). De benedengrens van het traject van de neutrale omgevingstemperatuur is de laagste kritische omgevingstemperatuur. De bovengrens is de hoogste kritische omgevingstemperatuur.

De neutrale omgevingstemperatuur voor de ongeklede volwassene bedraagt 26–30°C. De neutrale omgevingstemperatuur voor de pasgeborene werd door Oliver¹⁰², Scopes en Ahmed¹¹³ en Hey^{60, 129} en Hey en Katz⁶⁶ bepaald. De resultaten van Oliver¹⁰² en van Scopes en Ahmed¹¹³ zijn door de *Committee on fetus and newborn* (1969–1971) van de *American Academy of Pediatrics* ten behoeve van de verpleging van pasgeborenen in couveuses in tabelvorm samengevat. Deze tabellen zijn vermeld in de *Standards and Recommendations for Hospital Care of Newborn Infants*¹²⁷ en geven de neutrale omgevingstemperatuur voor pasgeborenen van 0.5–4.0 kg geboortegewicht vanaf de eerste levensdag tot de leeftijd van zeven weken aan. Het is duidelijk dat de neutrale omgevingstemperatuur wordt gezien als optimale temperatuur voor de verpleging van pasgeborenen in couveuses. Met couveusetemperatuur wordt de temperatuur bedoeld afgelezen van de in de couveuse aangebrachte thermometer. Een relatieve vochtigheid van de couveuselucht van 50% wordt geadviseerd, over de luchtsnelheid wordt niet gesproken.

Hey^{60, 129} en Hey en Katz⁶⁶ bepaalde de neutrale omgevingstemperatuur van pasgeborenen in een proefopstelling waarin niet alleen de vochtigheid en de temperatuur van de lucht, maar ook de temperatuur van de het kind omgevende wanden bekend was. De door hen gevonden waarden voor het traject van de neutrale omgevingstemperatuur is voor pasgeborenen van 2.0 kg geboortegewicht voor de eerste vier levensweken weergegeven in fig. 2. Door het gebruik van verschillende gewichtsgroepen wordt een vergelijking van de door respectievelijk de *Committee on fetus and newborn* en Hey^{60, 129} en Hey en Katz⁶⁶ geadviseerde neutrale

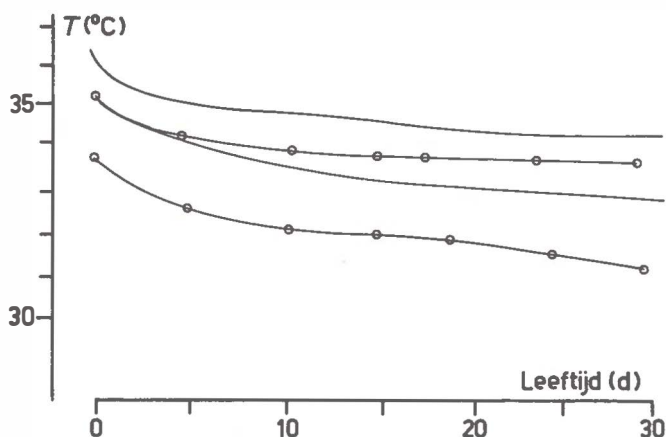


Fig. 2 Grenzen van de neutrale omgevingstemperatuur volgens Hey^{60, 129} en Hey en Katz⁶⁶ voor pasgeborenen van 2.0 kg geboortegewicht (—) en volgens de *Standards and Recommendations for Hospital Care of Newborn Infants*¹²⁷ voor pasgeborenen van 1.5–2.5 kg geboortegewicht (○—○).

omgevingstemperatuur bemoeilijkt. Enige vergelijking is wel mogelijk door de neutrale omgevingstemperatuur voor pasgeborenen van 1.5–2.5 kg geboortegewicht aanbevolen door de *Committee on fetus and newborn* te vergelijken met de neutrale omgevingstemperatuur voor pasgeborenen van 2.0 kg geboortegewicht zoals gevonden door Hey^{60, 129} en Hey en Katz⁶⁶. Beide zijn weergegeven in fig. 2. Het is duidelijk dat de neutrale omgevingstemperatuur volgens Hey^{60, 129} en Hey en Katz⁶⁶ hoger is dan de neutrale omgevingstemperatuur aanbevolen door de *Committee on fetus and newborn*. Dit verschil is onverklaard.

De gemiddelde couveusetemperatuur, volgens Hey¹²⁹ nodig voor de verpleging van ongeklede pasgeborenen bij neutrale omgevingstemperatuur is in tabel 2 weergegeven. Het door Hey gebruikte begrip operationele temperatuur wordt in 2.3. besproken. Bij de aangegeven couveusetemperatuur (tabel 2) vinden Hey en Katz⁶⁶ een abdominale huidtemperatuur van 36.4°C bij pasgeborenen zwaarder dan 2 kg en 36.2°C bij pasgeborenen lichter dan 2 kg geboortegewicht.

Tabel 2. Neutrale omgevingstemperatuur voor ongeklede pasgeborenen volgens Hey⁶¹

Geboortegewicht (kg)		Neutrale omgevingstemperatuur (°C)			
1.0	35 (0–10 d)	34 (10–21 d)	33 (21–35 d)	32 (> 35 d)	
1.5	—	34 (0–10 d)	33 (10–28 d)	32 (> 28 d)	
2.0	—	34 (0– 2 d)	33 (2–21 d)	32 (> 21 d)	
> 2.5	—	—	33 (0– 2 d)	32 (> 2 d)	

2.3 Temperatuur in de couveuse

Voor de verpleging van pasgeborenen en zuigelingen zijn couveuses van verschillend fabrikaat in gebruik. Bij alle in de handel verkrijgbare couveuses wordt de lucht in de couveuse verwarmd (convectiecouveuse) en kan de vochtigheid van de lucht worden geregeld. Couveuses met wandverwarming zijn niet in de handel verkrijgbaar en worden slechts door een enkeling gebruikt¹³⁰.

Een convectie couveuse kan worden voorgesteld als een blokvormige doos met doorzichtige perspexwanden. In de couveuse ligt een matras met daaronder een systeem om de lucht te verwarmen. De verwarmde lucht beweegt zich spontaan door de couveuse (natuurlijke convectie) of wordt door de couveuse geblazen (geforceerde convectie). De temperatuur van de lucht wordt in het verwarmings-systeem binnen nauwe grenzen geregeld (thermostaat), maar behoeft niet overeen te komen met de luchttemperatuur elders in de couveuse. De temperatuur in de convectiecouveuse wordt afgelezen van een kwikthermometer, die doorgaans boven in de couveuse tegen de wand is geplaatst. De vochtigheid van de lucht in de convectiecouveuse wordt geregeld door de verwarmde lucht over een wateroppervlak van variabele grootte te leiden.

De temperatuur van de lucht in de convectiecouveuse is niet overal gelijk. Hey en Mount^{63, 64} toonden aan dat de temperatuur van de lucht boven in de couveuse ongeveer 3–4°C hoger kan zijn dan onderin. Dit verschil werd zowel bij een couveuse met natuurlijke convectie als bij een couveuse met geforceerde convectie waargenomen. De temperatuur van de wand van de convectiecouveuse is evenmin gelijk aan de temperatuur van de binnenstromende, verwarmde lucht. Hey en Mount^{63, 64} vonden, dat alleen de temperatuur van de bodem van de couveuse meestal gelijk is aan die van de lucht (bij natuurlijke convectie), of iets lager (bij geforceerde convectie). De temperatuur van de perspexwanden is meestal aanzienlijk lager. Dit verschil is afhankelijk van de temperatuur van het vertrek waarin de couveuse staat opgesteld en is een gevolg van het feit dat perspex zich gedraagt als een zwart lichaam voor warmtestraling van voorwerpen waarvan de temperatuur in het gebied van kamer- en lichaamstemperatuur ligt. De vanuit de couveuse aan de perspexwand toegevoerde warmte wordt dus gemakkelijk afgegeven (straling) aan voorwerpen in de buurt van de couveuse waarvan de temperatuur lager is. Uiteraard staat de couveusewand ook warmte af aan de kamerlucht, indien de temperatuur van de kamerlucht lager is dan de temperatuur van de buitenzijde van de perspexwand. In een convectiecouveuse waarvan de luchttemperatuur bijvoorbeeld op 32°C wordt gehouden en die is opgesteld in een vertrek van 17°C, vonden Hey en Mount^{63, 64} een gemiddelde wandtemperatuur van 26°C. Dit is aanzienlijk lager dan de ingestelde luchttemperatuur en dit heeft tot gevolg dat de warmteafgifte van de pasgeborene in de couveuse door straling naar de couveusewand groter is dan men op grond van de afgelezen couveusetemperatuur zou verwachten. Het tegen-

deel is het geval indien zich buiten de couveuse warmtebronnen (zon, warme lampen) bevinden waarvan $\lambda_{\max} < 2 \mu\text{m}$. Deze straling kan ongehinderd de perspexwand passeren en door het zich in de couveuse bevindende kind worden opgenomen. De lichaamstemperatuur van het kind stijgt, terwijl de temperatuur van de couveusewand en de couveuselucht vrijwel gelijk blijven (broekaseffekt).

Het is duidelijk dat de temperatuur in de couveuse niet alleen moet worden gemeten met behulp van de daarin aangebrachte thermometer. De temperatuur op de plaats van het kind in de couveuse, wordt immers niet alleen bepaald door de temperatuur van de couveuselucht, maar ook door de temperatuur van de couveusewanden, inclusief het matras, en de aanwezigheid van bepaalde warmtebronnen in het vertrek waarin de couveuse staat. De invloed van de temperatuur van de couveusewanden op de temperatuur van een zwart lichaam in de couveuse kan worden bepaald als gemiddelde stralingstemperatuur. Hey en Mount^{63, 64} bepaalden de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur in een convectiecouveuse. Voor de bepaling van de gemiddelde stralingstemperatuur maakten zij gebruik van een gemodificeerde vorm van de bolthermometer van Bedford en Warner¹¹. De bolthermometer bestaat uit een dunwandige koperen bol (11 cm diameter), waarvan het oppervlak mat zwart is gemaakt. Het kwikreservoir van een thermometer is in het centrum van de met lucht gevulde bol geplaatst, de schaal bevindt zich buiten de bol. De temperatuur van de stilstaande lucht in de bol is de resultante van de temperatuur van de omgevende couveusewanden, de luchttemperatuur en de luchtsnelheid. De gemiddelde stralingstemperatuur kan met behulp van de door Bedford en Warner¹¹ aangegeven methode uit de aanwijzing van de thermometer worden berekend en geldt uiteraard alleen op het punt waar de bol zich bevindt. De gemiddelde stralingstemperatuur werd bepaald in een convectiecouveuse (5 cm boven het midden van het matras) bij verschillende temperatuur van het vertrek waarin de couveuse stond opgesteld. De couveuseluchttemperatuur werd op 32.0°C gehandhaafd. De gemiddelde stralingstemperatuur bleek 27.8°C te zijn bij een kamertemperatuur van 14.0°C. In vergelijking met de gemiddelde (gemeten) couveusewandtemperatuur was de gemiddelde stralingstemperatuur iets hoger.

Het is de vraag wat voor de pasgeborene in de couveuse de betekenis is van de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur. Het is duidelijk dat beide temperaturen van invloed zijn op de warmteafgifte van het kind. Warmteafgifte vindt plaats door straling, convectie, geleidingen en verdamping. De warmteafgifte door straling en convectie wordt beïnvloed door de gemiddelde stralingstemperatuur en de luchttemperatuur. Hey en Mount^{63, 64} namen aan dat de invloeden van gemiddelde stralingstemperatuur en luchttemperatuur op de warmteafgifte door straling en convectie zich verhouden als 3:2^{29, 56, 98, 138}. Met behulp van deze verhouding berekenden zij de operationele temperatuur. De operationele temperatuur is een maat voor het gekombineerde effect van gemiddelde stralings-

temperatuur en luchttemperatuur op de warmteafgifte (door straling en convectie) van het kind in de couveuse.

$$T_o = 0.6 T_r + 0.4 T_a \quad (1)$$

waarin T_o = operationele temperatuur, T_r = gemiddelde stralingstemperatuur en T_a = luchttemperatuur. In een couveuse opgesteld in een vertrek van 26.0°C , waarin $T_r = 30.6^\circ\text{C}$ en $T_a = 32.0$, is $T_o = 31.2^\circ\text{C}$. Is de couveuse opgesteld in een vertrek van 14.0°C , en is $T_r = 27.8^\circ\text{C}$ en $T_a = 32.0^\circ\text{C}$, dan is $T_o = 29.5^\circ\text{C}$.

Het is duidelijk dat de gewenste (operationele) temperatuur in de convectie-couveuse niet wordt bereikt, indien onvoldoende rekening wordt gehouden met de temperatuur van het vertrek waarin de convectiecouveuse staat opgesteld. Hey en Mount vonden dat de operationele temperatuur van 35°C in de praktijk in de convectiecouveuse alleen kan worden bereikt als de luchttemperatuur in de couveuse of de temperatuur van het vertrek en daarmee de gemiddelde stralingstemperatuur, aanzienlijk worden opgevoerd. Aangezien het opvoeren van de luchttemperatuur niet geoorloofd is, blijft het verhogen van de kamertemperatuur over. Om te bepalen op welk niveau de kamertemperatuur moet worden gebracht, moet men voor de gegeven situatie T_o bepalen. Naast T_a dient men hiervoor T_r te kennen. De bepaling van T_r met behulp van een bolthermometer is in de couveuse, bij aanwezigheid van een kind dat optreedt als een storende warmtebron, in de praktijk vrijwel onuitvoerbaar. Eenvoudiger is het om de couveuse zodanig te construeren dat $T_a = T_r$. Deze toestand kan ten naaste bij worden bereikt door de temperatuur van de couveuselucht en de couveusewanden gelijk te maken. Hey en Mount^{63, 64} vonden hiertoe voor de convectiecouveuse een eenvoudige oplossing door een halve cylinder van dun perspex zodanig over het kind te plaatsen dat de couveuselucht dit schild aan weerszijden verwarmt (warmteschild). De temperatuur van het schild is dan ongeveer gelijk aan de luchttemperatuur in de couveuse. Verandering van de temperatuur van het vertrek waarin de couveuse met warmteschild stond opgesteld van 14.0°C tot 30.0°C had op T_r onder het warmteschild, geen invloed.

Het is duidelijk dat wegnemen van het warmteschild al dan niet gepaard met het openen van de couveuse noodzakelijk voor het verrichten van handelingen aan het kind, daling van T_o tot gevolg heeft. Vooral voor pasgeborenen die intensieve verpleging vragen, kan dit tot gevolg hebben dat men extra warmtebronnen, zoals infraroodstralers, aanbrengt. Het effect hiervan op de operationele temperatuur is moeilijk te voorspellen. Betere mogelijkheden om de temperatuur van de couveusewand te beïnvloeden, zijn verdubbelen van de couveusewand, verwarming van de wand of het verhogen van de temperatuur van het vertrek waarin de couveuse staat opgesteld. Verpleging van pasgeborenen in couveuses in een vertrek waarvan de temperatuur 30.0 – 32.0°C bedraagt, is zinvol, indien aan het kind veel handelingen moeten worden verricht (intensieve verpleging). Extra verwarming van de couveuse-

wand wordt maar door enkelen¹³⁰ toegepast, hoewel men zich gezien de bevindingen van Hey en Mount toch wel moet afvragen of de convectiecouveuse nog wel geschikt is voor pasgeborenen.

Naast de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur zijn ook de luchtsnelheid en de vochtigheid van invloed op de warmteafgifte. De luchtsnelheid beïnvloedt de warmteafgifte door convectie en verdamping, de luchtvochtigheid de warmteafgifte door verdamping. Luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtsnelheid en luchtvochtigheid bepalen samen het klimaat. Deze factoren kunnen elkaar, gerekend naar de invloed op de warmteafgifte, beïnvloeden. Het is tot dusver niet gebruikelijk om het gekombineerde effect van alle factoren die het klimaat in de couveuse bepalen, aan te geven⁷⁰.

Hoofdstuk 3

WARMTEPRODUKTIE

3.1 Bepaling van de warmteproductie

3.1.1 Energiewisseling

De in het lichaam geproduceerde warmte is afkomstig van de stofwisseling, die in de cellen plaatsvindt. Onder stofwisseling (metabolisme) verstaat men het geheel van chemische reacties in de lichaamscellen. De energiewisseling is een aspect van de stofwisseling. Bij de energiewisseling wordt de potentiële energie van voedingsstoffen omgezet in andere vormen van energie, bijvoorbeeld warmte. Door het lichaam opgenomen voedingsstoffen worden door hydrolyse gesplitst. Bij de volwassene wordt bij deze hydrolyse 1% van de potentiële energie van de voeding in warmte omgezet. De splitsingsprodukten worden daarna voor een deel door oxydatie omgezet in energierijke fosfaatverbindingen (62%) waarbij ook warmte (35%) vrijkomt. Bij de oxydatie wordt O_2 opgenomen en worden CO_2 en N verbindingen afgegeven. Met de N verbindingen verlaat 2% van de potentiële energie van de toegevoerde voedingsstoffen het lichaam. De aan de fosfaatverbindingen overgedragen energie wordt gebruikt voor biosynthese (o.a. groei), actief transport, inwendige mechanische arbeid en uitwendige mechanische arbeid. De energie die met de voedingsstoffen is toegevoerd, wordt met uitzondering van de uitwendige mechanische arbeid en de energie opgeslagen in de toename van de lichaamsmassa (groei), uiteindelijk geheel omgezet in warmte.

De door het lichaam geproduceerde warmte kan op verschillende manieren worden bepaald. In de eerste plaats kan de hoeveelheid geproduceerde warmte worden berekend uit de energiebalans. Bij de volwassene is de energiebalans, de verhouding tussen opgenomen en afgegeven energie, gerekend over een periode van ten minste 30 d¹⁴⁸ doorgaans in evenwicht, aangezien de lichaamsmassa en samenstelling over die periode nagenoeg konstant zijn. De hoeveelheid met de voeding aangevoerde energie is dan gelijk aan de som van de hoeveelheden die het lichaam

als warmte, als uitwendige mechanische arbeid, als N verbindingen (urine) en als niet-geresorbeerde voedingsstoffen (faeces) verlaten. Deze methode is onpraktisch en bij de pasgeborene, die een voortdurend veranderende lichaamsmassa en samenstelling heeft, onbruikbaar. In de tweede plaats kan de warmteproductie worden berekend uit de bepaling van de warmteafgifte (direkte calorimetrie). In de derde plaats kan de warmteproductie worden berekend uit de O_2 opname, CO_2 afgifte en de hoeveelheid uitgescheiden N verbindingen (indirekte calorimetrie).

3.1.2 *Direkte calorimetrie*

Een calorimeter is een apparaat waarmee de warmteafgifte of warmteopname van een zich erin bevindend object kan worden bepaald. Een calorimeter kan worden voorgesteld als een afgesloten vat waarvan de dubbele wand doorstroomd wordt met een vloeistof. Uit de temperatuur van de instromende en de uitstromende vloeistof en de stroomsterkte kan men de in het vat vrijkomende of opgenomen warmte berekenen. Het systeem is zeer traag; men kan er alleen de gemiddelde warmteafgifte over een lange periode mee bepalen. Calorimeters van dit type zijn voor de bepaling van de warmteafgifte van pasgeborenen weinig gebruikt. In het begin van deze eeuw zijn door verschillende onderzoekers metingen met behulp van zo'n calorimeter verricht. Day et al.³⁴ gebruikten voor de bepaling van de warmteafgifte van pasgeborenen een ander type, de gradiëntcalorimeter. In een gradiëntcalorimeter wordt het temperatuurverschil tussen de binnen- en de buitenkant van de wand van de calorimeter gemeten. Dit temperatuurverschil is een maat voor de warmteafgifte van de zich in de calorimeter bevindende proefpersoon. De modernste calorimeter is een door Benzinger en Kitinger¹³ gekonstrueerde gradiëntcalorimeter, waarvan de aanwijstijd zo kort is dat de variaties in de warmteafgifte getrouw kunnen worden geregistreerd. Sulyok et al.¹²⁸ en Ryser en Jéquier¹¹¹ hebben deze gradiëntcalorimeter toegepast voor de bepaling van de warmteafgifte van pasgeborenen (tabel 3).

3.1.3 *Indirekte calorimetrie*

De potentiële energie van de voedingsstoffen die aan de oxydatie deelnemen, wordt bij de pasgeborene vrijwel geheel omgezet in warmte. Dit is een gevolg van het feit dat de pasgeborene bij het verrichten van mechanische arbeid vrijwel geen energie buiten het lichaam brengt. De potentiële energie van de voedingsstoffen die na hydrolyse worden omgevormd tot lichaamswefsel, wordt uiteraard niet omgezet in warmte. Bij de pasgeborene is dit, door de snelle groei, een aanzienlijk groter deel van de met de voeding opgenomen energie dan bij de volwassene.

De hoeveelheid voedingsstoffen die in warmte worden omgezet kunnen worden bepaald door de meting van de O_2 opname, de CO_2 afgifte en de uitscheiding van N verbindingen. Hiervoor is het noodzakelijk te weten hoeveel O_2 wordt opgenomen, CO_2 wordt afgegeven en N verbindingen worden uitgescheiden bij de afbraak van elke voedingsstof. Wanneer men bovendien weet hoeveel energie er per massa eenheid vrijkomt bij de oxydatie van de verschillende voedingsstoffen, kan men uit O_2 opname, CO_2 afgifte en uitscheiding van N verbindingen de warmteproductie berekenen.

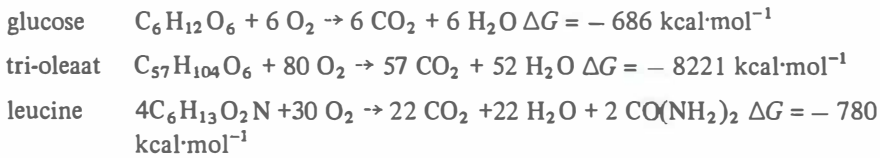
3.1.4 Calorische waarde van voedingsstoffen

Onder de calorische waarde van een voedingsstof verstaat men het aantal calorieën dat bij oxydatie van 1 g van die stof vrijkomt. De voor het lichaam belangrijke voedingsstoffen zijn koolhydraten, vetten en eiwitten. Door oxydatie van deze voedingsstoffen in de bomcalorimeter kan de hoeveelheid warmte die vrijkomt worden bepaald. De hoeveelheid energie die bij oxydatie van koolhydraten en vetten vrijkomt is in vitro en in vivo gelijk. Bij de oxydatie van eiwitten is dit niet het geval (3.1.5). Verschillende onderzoekers^{5, 86, 88, 109, 110} hebben de calorische waarde van de voedingsstoffen in de bomcalorimeter bepaald. De spreiding van de calorische waarde van in de hoofdgroepen koolhydraten, vetten en eiwitten voorkomende voedingsstoffen is klein. Bij de koolhydraten is de calorische waarde van glucose 3.8, die van zetmeel 4.1 kcal·g⁻¹. Bij vetten hangt de calorische waarde af van de lengte van de koolstofketens van de vetzuren. De calorische waarde van vetten met veel *medium chain fatty acids* is bijvoorbeeld lager dan die van vetten opgebouwd uit vetzuren met langere koolstofketens. In de praktijk wordt met deze verschillen geen rekening gehouden. Voor koolhydraten wordt meestal een calorische waarde van 4.1, voor vetten van 9.3 en voor eiwitten van 4.2 kcal·g⁻¹ aangenomen. De calorische waarde van een samengestelde voeding wordt uiteraard bepaald door de verhouding waarin koolhydraten, vetten en eiwitten hierin voorkomen. De calorische waarde van de voeding van volwassenen bedraagt ongeveer 5 kcal·g⁻¹, die van de zuigeling die moedermelk krijgt ongeveer 7 kcal·g⁻¹.

3.1.5 Calorische waarde van O_2

Onder de calorische waarde van O_2 verstaat men het aantal calorieën dat bij de oxydatie van voedingsstoffen per verbruikte 1 O_2 vrijkomt. De calorische waarde van O_2 hangt af van de voedingsstoffen die verbruikt worden. Met behulp van de reaktievergelijking van de oxydatie van de verschillende voedingsstoffen kan de calorische waarde van O_2 worden berekend. In het onderstaande zijn glucose, tri-

oleaat en leucine gekozen als representant voor respectievelijk koolhydraten, vetten en eiwitten.



ΔG stelt hierin de vrijgekomen energie voor.

In de voor de oxydatie van leucine opgestelde reactievergelijking is rekening gehouden met het feit dat in het lichaam uit aminozuren ureum ontstaat. Door de bij oxydatie van ureum vrijkomende energie af te trekken van de bij volledige oxydatie van het aminozuur vrijkomende energie, is de hoeveelheid energie die in vivo vrijkomt bekend. De gemiddelde waarden die voor koolhydraten, vetten en eiwitten worden gevonden zijn respectievelijk 5.05, 4.74 en 4.46 kcal·l⁻¹.

3.1.6 Berekening van de warmteproductie uit de O₂ opname

Het is niet mogelijk om te bepalen welke stoffen in het lichaam op een bepaald moment geoxydeerd worden. Wel kan uit meting van O₂ opname (\dot{V}_{O_2}) en CO₂ afgifte (\dot{V}_{CO_2}) en de uitscheiding van N verbindingen worden aangegeven, wat het aandeel van koolhydraten, eiwitten en vetten in de produktie van warmte is. Omdat de meting van de uitscheiding van N verbindingen het verzamelen van urine met zich meebrengt laat men dit meestal na. In de kindergeneeskunde wordt ook \dot{V}_{CO_2} meestal niet gemeten, maar wordt uitgaande van veronderstellingen over het aandeel van koolhydraten, vetten en eiwitten in het totaal van de stofwisseling met een gemiddelde calorische waarde van O₂ gewerkt. Bij de oxydatie van een mengsel van koolhydraten, eiwitten en vetten ligt de calorische waarde van O₂ tussen 4.46 en 5.05 kcal·l⁻¹. Doorgaans gebruikt men een waarde van 4.83 kcal·l⁻¹. De warmteproductie wordt dan berekend met

$$\dot{M} = 4.83 \dot{V}_{O_2} \quad (2)$$

waarin \dot{M} de per tijdseenheid geproduceerde warmte voorstelt.

3.1.7 Berekening van de warmteproductie uit O₂ opname en CO₂ afgifte

Een betere benadering wordt verkregen indien men gelijktijdig \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2}

bepaalt. Men maakt dan voor de berekening van de warmteproductie gebruik van het respiratoire quotiënt (R).

$$R = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}_{\text{O}_2}} \quad (3)$$

Uit de reactievergelijkingen (3.1.5) volgt dat bij de verbranding van koolhydraten $R = 1.00$, bij de verbranding van vetten $R = 0.71$, en bij de verbranding van eiwitten $R = 0.81$. Indien men aanneemt dat de geproduceerde warmte afkomstig is van een mengsel van koolhydraten en vetten, is met behulp van het respiratoire quotiënt de calorische waarde van O_2 te berekenen. In een mengsel van koolhydraten en vetten geldt $0.71 < R < 1.00$. Met behulp van R kan worden berekend welk deel van de O_2 gebruikt is voor de oxydatie van koolhydraten ($\dot{V}_{\text{O}_2}(k)$) en welk deel voor de oxydatie van vetten ($\dot{V}_{\text{O}_2}(\nu)$). Vermenigvuldiging van $\dot{V}_{\text{O}_2}(k)$ en $\dot{V}_{\text{O}_2}(\nu)$ met respectievelijk 5.05 en $4.74 \text{ kcal} \cdot \text{l}^{-1}$ geeft na optelling de warmteproductie. Eenvoudiger is het om na bepaling van R gebruik te maken van door Lusk⁸⁶ opgestelde tabellen waarin de calorische waarde van O_2 voor $0.71 < R < 1.00$ is weergegeven.

3.1.8 Berekening van de warmteproductie uit O_2 opname, CO_2 afgifte en uitscheiding van N verbindingen

De beste benadering wordt verkregen indien men bij de berekening van de warmteproductie ook het aandeel van de oxydatie van eiwitten in rekening brengt. Aangezien in het lichaam aminozuren bij oxydatie in ureum worden omgezet, is het aandeel van de eiwitten te bepalen uit de uitscheiding van N verbindingen in de urine. Daar gemiddeld ongeveer 16% van de eiwitten uit N bestaat, kan de per tijdseenheid geoxydeerde hoeveelheid eiwit (\dot{m}_e) worden berekend uit de per tijdseenheid uitgescheiden hoeveelheid N (\dot{m}_N). Immers

$$\dot{m}_N = 0.16 \dot{m}_e \quad (4)$$

Uit \dot{m}_e kan worden berekend hoeveel warmte door oxydatie van eiwitten is geproduceerd. Eveneens kunnen $\dot{V}_{\text{O}_2}(e)$ en $\dot{V}_{\text{CO}_2}(e)$ worden berekend. Aangezien

$$\dot{V}_{\text{O}_2}(k + \nu) = \dot{V}_{\text{O}_2} - \dot{V}_{\text{O}_2}(e) \quad (5)$$

$$\dot{V}_{\text{CO}_2}(k + \nu) = \dot{V}_{\text{CO}_2} - \dot{V}_{\text{CO}_2}(e) \quad (6)$$

kan uit $\dot{V}_{\text{O}_2}(k + \nu)$ en $\dot{V}_{\text{CO}_2}(k + \nu)$ worden berekend (3.1.7) hoeveel warmte door

oxydatie van koolhydraten en vetten is geproduceerd. De totale hoeveelheid geproduceerde warmte is de som van de bij oxydatie van koolhydraten en vetten en van eiwitten vrijkomende warmte. Men kan ook rekening houden met het aandeel van de oxydatie van koolhydraten, eiwitten en vetten afzonderlijk in de warmteproductie door gebruik te maken van de vergelijking van Weir¹³⁶

$$\dot{M} = 3.94 \dot{V}_{O_2} + 1.106 \dot{V}_{CO_2} - 2.17 \dot{m}_N \quad (7)$$

of de vergelijking van Conzolasio³¹

$$\dot{M} = 3.78 \dot{V}_{O_2} + 1.16 \dot{V}_{CO_2} - 2.98 \dot{m}_N \quad (8)$$

3.2 Warmteproductie van de pasgeborene

3.2.1 Basaalmetabolisme

De energiewisseling of warmteproductie onder basale kondities wordt basaalmetabolisme genoemd. Bepaling van de energiewisseling onder basale kondities stelt ons in staat het basaalmetabolisme van verschillende personen met elkaar te vergelijken. Voor volwassenen houden basale kondities in, dat deze rustig ligt, niet slaapt, een goede nachtrust heeft gehad, geen medikamenten krijgt, niet opgewonden is, een normale lichaamstemperatuur heeft, 48 h voor de meting eiwitarm heeft gegeten, gedurende 12 h voor de meting heeft gevast, licht gekleed is en zich in een vertrek bevindt waarvan de temperatuur 22°C bedraagt¹⁴⁸. Indien de lichaamstemperatuur tijdens de meting konstant blijft, is de warmteafgifte van het lichaam gelijk aan de warmteproductie. De basale kondities geldende voor volwassenen zijn niet zonder meer te realiseren bij pasgeborenen en zuigelingen.

In de eerste plaats is het voor pasgeborenen en zuigelingen normaal 5 of 6 voedingen te krijgen. Het is onzinnig om het kind gedurende 12 h nuchter te houden en dan te verwachten dat het tijdens de meting rustig blijft en geen tekenen van honger toont. Dit is door Scopes en Ahmed¹¹² treffend weergegeven: *the infant is always digesting one meal, or actively anticipating the next*. Voeding wordt dan ook meestal in het normale tijdschema gecontinueerd en bepalingen van de warmteproductie binnen 2 h na voedselopname verricht. Dit heeft tot gevolg dat de toename van de warmteproductie na voedselopname (specifiek dynamisch effect) het meetresultaat mede bepaalt. Bij volwassenen bedraagt het specifiek dynamisch effect bij een gemengde voeding ongeveer 7–8% van de opgenomen energie. Mestyan et al.⁹³ namen waar dat de warmteproductie bij 6 tot 28 d oude prematuren na voedselopname tot 30% kan toenemen. Brooke en Ashworth²¹

vonden bij 12 ondervoede, in groei achtergebleven kinderen van 3 tot 20 maanden een stijging van de warmteproductie na voedselopname van 38%. Deze sterke stijging van de warmteproductie na voedselopname trad op als de groei van het kind groter was dan normaal (inhaalgroei). De toename van de warmteproductie na voedselopname was voordat de inhaalgroei begon lager. Gentz en Kellum⁵¹ vonden dat de toename van de warmteproductie na voeding bij hongerende biggen afhankelijk is van de voedingstoestand van het dier. Bahkoo en Scopes⁹ namen waar, dat de O₂ opname van pasgeborenen met een te laag geboortegewicht stijgt met de per dag toegediende hoeveelheid voeding.

In de tweede plaats is er verschil tussen het gedrag van pasgeborenen en volwassenen. Bij de volwassene kan men het gedrag nauwkeurig van tevoren afspreken, bij de pasgeborene moet men maar afwachten wat het kind gaat doen en is men genoodzaakt het gedrag van het kind op een of andere wijze weer te geven. Aangezien pasgeborenen aanzienlijk meer slapen dan volwassenen, betreft men de slaaperiode — het kind is dan tenminste rustig — graag in de metingen, naast perioden waarin het kind met open ogen rustig ligt. Brück et al.²⁵ vonden, dat de warmteproductie van pasgeborenen in de periode die zij *quiet sleep* noemden, gemiddeld 7.7% en in de periode die zij *active sleep* en *wakefulness* noemden, gemiddeld 28.4% hoger was dan de laagste door hen gevonden waarde. Scopes en Almed¹¹² vonden dat de O₂ opname in wat zij noemden *light sleep* (ogen gesloten, oogbolbewegingen, geringe lichaamsbewegingen, onregelmatige ademhaling), ongeveer 7–28% hoger was dan tijdens *deep sleep* (ogen gesloten, geen oogbolbewegingen, geen lichaamsbewegingen, regelmatige ademhaling).

In de derde plaats is de omgevingstemperatuur van 22°C waarin bij volwassenen het basaalmetabolisme wordt bepaald, voor de pasgeborene niet bruikbaar. De bepaling dient bij neutrale omgevingstemperatuur (2.2.3) plaats te vinden. Dit stelt niet alleen eisen aan het klimaat van het vertrek waarin de metingen worden verricht, doch vraagt ook overeenstemming over de neutrale omgevingstemperatuur (2.2.3).

In de vierde plaats heeft de pasgeborene in tegenstelling tot de volwassene geen konstante lichaamsmassa en lichaamssamenstelling. Na aanvankelijke gewichtsvermindering in de eerste levensdagen neemt het gewicht toe (groei, vetstapeling). Gewichtsveranderingen van de pasgeborene zijn in de eerste levensdagen vooral het gevolg van verandering van de hoeveelheid extracellulair water. Indien de celmassa van het lichaam gelijk blijft, kunnen veranderingen van de hoeveelheid extracellulair water van invloed zijn op de waarde van de O₂ opname per kg lichaamsmassa⁸.

In de vijfde plaats is de bij pasgeborenen in de eerste levensdagen voorkomende hypoglycaemie van invloed op het metabolisme. Hypoglycaemie kan zonder klinische verschijnselen voorkomen (asymptomatische hypoglycaemie) Scopes en Almed¹¹² vonden dat de O₂ opname van pasgeborenen tijdens hypoglycaemie ongeveer 15% lager was dan bij een normaal bloedsuikergehalte.

Tabel 3. Overzicht van de literatuur van de O_2 opname (\dot{V}_{O_2}) en warmteproductie (\dot{M}) van pasgeborenen. De omstandigheden waaronder de metingen werden verricht, zijn voor zover het kleding, luchttemperatuur (T_a), wandtemperatuur (T_w) en voor de bepaling van de warmteproductie gebruikte methoden betreft, aangegeven aan de hand van in de publikaties vermelde gegevens

Auteur	Geboortegewicht (kg)	Temperatuur T_a (°C)	T_w (°C)	Kleding	Methode	Leeftijd 0–30 h \dot{V}_{O_2} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	\dot{M} (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	Leeftijd 0–14 d \dot{V}_{O_2} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	\dot{M} (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)
Kraus en Auld ⁷⁷	1.25	34.5–36	?	?	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	* 6.2 (0–24)	41	* 7.4 (5–10)	51.5
Mestyan et al ⁹³	1.0–1.5	kamerlucht	36–36.5	?	O_2	* 4.3 (0–48)	29.4	* 5.2 (13–14)	37
Hey ⁵⁹	1.0–1.5	35	35	geen	O_2	* 5.4 (4–12)	37.5	* 5.8–7.6 (7–11)	40.3–52.8
Kerpel Fronius et al ⁷⁵	1.0–1.5	28–30	?	gekleed	O_2	---	---	4.0 (1–10)	---
Kraus en Auld ⁷⁷	1.25–1.5	34.5–36	?	?	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	---	---	* 7.3 (5–10)	47
Scopes en Ahmed ¹¹²	1.5	---	33–34.7	geen	O_2	* 4.5 (12–24)	31.3	* 5.3 (2–10)	36.8
Hill en Robinson ⁶⁸	1.47±3.9	32–36	32–36	geen	O_2	* 4.9 (12)	34.0	* 5.7–6.3 (2–10)	39.6–43.8
Brück ³³	1.12–2.27	32–34	32–34	geen	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	--- (0.6)	34.6	--- (7–9)	35.3
Brück et al ²⁵	1.24–2.21	32–34	32–34	geen	O_2	---	---	6.1 (5–11)	42.4
Adams et al ¹	1.04–2.11	32–34	32–34	geen	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	* 4.5 (2–4)	31.3	* 6.4 (1–3)	44.5
Sinclair en Silverman ¹²⁴	0.75–2.5	Huidservocontrol	36	geen?	O_2	---	---	* 5.9 (2–10)	41
Boekelman ¹⁷	1.175–2.16	24–26	kamer	gekleed	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	* 3.2–6.9 (2–24)	24–45	---	---
	0.96–2.04	24–26	kamer	gekleed	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	---	---	* 4.7–9.5 (3–14)	32–64
Van der Vlugt ¹³²	1.16–2.430	kamerlucht	32–36	luijer	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	* 3.8–4.6 (0–24)	26.4–32	* 3.9–6.8 (2–10)	27–47
Mestyan et al ⁹³	1.5–2.0	kamerlucht	34.5–36.5	---	O_2	* 4.9 (0–48)	35	* 5.8 (13–14)	41
Kerpel-Fronius et al ⁷⁵	1.5–2.0	28–30	?	---	O_2	---	---	4.5 (1–10)	31.3
Scopes en Ahmed ¹¹²	> 1.5	?	31–34	geen	O_2	* 4.5 (12–24)	31.3	* 5.6 (2–10)	38.9
Hey ⁵⁹	1.5–2.0	35	35	geen	O_2	* 5.7 (4–12)	39.6	* 6.3–7.5 (1–11)	43.8–52
Kraus en Auld ⁷⁷	1.5–2.0	34.5–36	?	?	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	* 6.7 (0–24)	46	* 7.8 (5–10)	54
Miller et al ⁹⁵	1.64–2.37	31.1–32.2	?	luijer	O_2	0 7.0 (0–24)	48.6	0 7.2 (1–9)	50
Hill en Robinson ⁶⁸	2.19±0.3	32–36	32–36	geen	O_2	* 5.1 (12)	35.4	* 6.4–7.0 (2–10)	44.5–48.6
Hey ⁵⁹	2.0–2.5	35	35	geen	O_2	* 5.3 (4–12)	36.8	* 6.9–8.0 (1–11)	48–55.6
Miller et al ⁹⁵	1.68–3.025	31.1–32.2	?	luijer	O_2	□ 8.5 (11–49)	59	---	---
Adamson et al ³	2.2–4.3	35±1	35±1	geen	O_2	* 4.6	32	---	---
Hey ⁵⁹	2.5–3.0	35	35	geen	O_2	* 5.8 (4–12)	40.3	* 6.7–7.8 (1–11)	46.6–54.2
Oliver en Karlberg ¹⁰³	2.54–4.1	31.9–35.3	?	geen	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	---	---	* 6.2 (1–19)	43
Brück ³³	2.65–4.22	32–34	32–34	geen	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	--- (0–6)	34.3	(7–9)	36.7
Přvibílová ¹⁰⁴	2.7–4.0	33–34	?	licht	O_2	0 3.4 (0–24)	23.6	0 4.2 (1–7)	29.2
Levison et al ^{82, 83}	2.5–4.6	32–34.8	34–36	geen	O_2	* 5.3 (12–24)	36.8	* 5.8 (9–14)	40.3
Boekelman ¹⁷	2.75–4.0	24–26	kamer	gekleed	$\text{O}_2 + \text{CO}_2$	* 4.5–6.7 (3–25)	31–46	---	---

	2.65–3.82	24–26	kamer	gekleed	O ₂ +CO ₂	---	---	5.8–7.2 (2–8)	40–49
Hill en Robinson ⁶⁸	2.8–4.8	32–36	32–36	geen	O ₂	* 6.6 (18–30)	45.9	* 7.0 (6–10)	48.6
Scopes en Ahmed ¹⁰³	3.32	?	29–34	geen	O ₂	* 4.6 (12–24)	32	* 6.2 (0–10)	43
Hey ⁵⁹	3.54 (gem)	35	35	geen	O ₂	* 5.4 (4–12)	37.5	* 7.0–7.2 (1–11)	48.7–50
Ryser en Jéquier ¹¹¹	3.12–3.31	34	?	?	Dir. Calo- rimetrie	(8–24)	39.6	---	---
Přibyllová en Znamenáček ^{105, 106}	3.4–0.176	29	?	licht	O ₂	O 3.9 (2–6)	27.1	---	---
Van der Vlugt ¹³²	3.04–4.24	kamerlucht	32–36	luier	O ₂ +CO ₂	* 4.6–5.8 (0–24)	32–40.3	* 5–6.7 (2–10)	35–46.6
Senterre en Karlberg ¹¹⁴	3.4 (gem)	als Scopes ¹¹²		geen?	O ₂ +CO ₂	---	---	* 5.4 (0–5)	37.5
Přibyllová en Znamenáček ^{105, 106}	3.356 (gem)	24	?	gekleed	O ₂	O 5.5–6.5 (0–5)	38.2–45.2	O 6.5–7.1 (1–3)	45.1–49.3

*: \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} onder kondities STPD; O: \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} onder kondities STP. □: \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} onder kondities BTPD. Aan de kolom \dot{V}_{O_2} is de spreiding van de leeftijd in de gemeten groep tussen haakjes toegevoegd.

Op grond van het bovenstaande lijkt het niet zinvol om bij pasgeborenen en zuigelingen van basaal metabolisme te spreken. De tot op heden wel gebruikte begrippen *basal metabolism*, *minimal metabolic rate*, *minimal oxygen consumption* zijn voor de onderlinge vergelijking van resultaten niet bruikbaar.

Karlberg⁷⁴ heeft daarom voorgesteld om bij pasgeborenen en zuigelingen het begrip *standard metabolic rate* te gebruiken. Onder *standard metabolic rate* wordt verstaan: 'de warmteproductie van een pasgeborene of zuigeling die op een normaal voedingsschema staat, gemeten binnen 2 h na de voeding, waarbij het kind rustig ligt of slaapt en zich in de neutrale omgevingstemperatuur bevindt'. Bepalingen dienen in perioden van 5 tot 10 min te worden verricht als het kind rustig is. De *minimale* warmteproductie kan worden gevonden door metingen onder deze condities tenminste gedurende 1 h continu te verrichten²⁶. Hoewel de *standard metabolic rate* een betere benadering is, omvat de definitie niet alle relevante factoren. Verschillende factoren, zoals neutrale omgevingstemperatuur, hoeveelheid voeding en gedragstoestand van het kind zijn onvoldoende gestandaardiseerd.

Omdat in de praktijk bij pasgeborenen en zuigelingen noch de nauwkeurig omschreven basale condities zoals voor volwassenen gelden, noch de condities zoals omschreven voor de bepaling van de *standard metabolic rate* te realiseren zijn, heeft Hey⁶¹ de begrippen *resting metabolic rate* (RMR) en *minimum observed metabolic rate* (MOMR) ingevoerd. Onder *resting metabolic rate* wordt de warmteproductie in rust verstaan, onder *minimum observed metabolic rate* de laagste waarde van de warmteproductie die bij het kind gemeten is. Waarschijnlijk zijn vele van de tot dusver beschreven bepalingen van het basaalmetabolisme van pasgeborenen en zuigelingen bepalingen van de *resting metabolic rate* geweest.

3.2.2 O₂ opname en warmteproductie van pasgeborenen gedurende de eerste levensweken

De O₂ opname van pasgeborenen en zuigelingen is door verscheidene onderzoekers bepaald. De resultaten van deze bepalingen zijn samengevat in tabel 3. Teneinde een onderlinge vergelijking mogelijk te maken zijn O₂ opname en warmteproductie naar geboortegewicht gerangschikt en de temperatuur van de lucht (T_a), de temperatuur van de couveusewand (T_w), en de kleding van het kind voor zover bekend weergegeven. Hoewel de pasgeborenen in alle gevallen in rust verkeerden zijn de omstandigheden waaronder de metingen werden verricht, in veel gevallen niet nauwkeurig omschreven.

In het algemeen zijn de O₂ opname en de warmteproductie op de eerste levensdag het laagst en nemen deze in de daarop volgende dagen toe. Er zijn echter vrij grote verschillen. De waarden die bijvoorbeeld door Boekelman¹⁷ en Příbylová^{104, 105, 106} bij geklede en door Van der Vlugt¹³² bij ongeklede

pasgeborenen op de eerste levensdag worden gevonden ($\dot{V}_{O_2} = 3.22-3.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) zijn lager dan de waarden van Miller et al.⁹⁵ ($\dot{V}_{O_2} = 8.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Het verschil is zo groot dat het nadere verklaring vraagt. Het is mogelijk dat de pasgeborenen van Boekelman en Přibyllová, zoals omstreeks 1960 gebruikelijk was, weinig of geen voeding kregen. Van der Vlugt verrichtte zijn metingen binnen 2 h na voedselopname. Het is echter niet bekend hoe groot de totale toegediende hoeveelheid voeding was. In het licht van de huidige kennis is het waarschijnlijk dat de door Miller et al.⁹⁵ gebruikte couveusetemperatuur ($31.3-32.3^\circ\text{C}$) onder de neutrale omgevingstemperatuur lag zodat \dot{V}_{O_2} en warmteproductie door de koude-responsie waren toegenomen.

Deze verschillen geven duidelijk aan hoe belangrijk het is dat de kondities waaronder metingen zijn verricht, worden vermeld.

Hoofdstuk 4

WARMTEAFGIFTE

4.1 Wegen waarlangs warmteafgifte plaatsvindt

Indien de temperatuur van het lichaam hoger is dan de temperatuur van de omgeving, vindt afgifte van warmte van het lichaam aan de omgeving plaats. Bij de mens treedt warmteafgifte op via de huid en de luchtwegen, terwijl tevens warmte aan opgenomen voedingsstoffen wordt afgegeven. De warmteafgifte via de huid vindt plaats door straling (\dot{H}_r), convectie (\dot{H}_c), geleiding (\dot{H}_d) en door verdamping (\dot{H}_e). De warmteafgifte via de luchtwegen vindt plaats door convectie en verdamping. Warmteverlies aan opgenomen voedingsstoffen (\dot{H}_i) treedt uiteraard alleen op indien de temperatuur van de voedingsstoffen lager is dan de lichaamstemperatuur. Optellen van de hoeveelheden warmte die per tijdseenheid langs de verschillende wegen worden afgegeven, geeft dan de totale warmteafgifte (\dot{H})

$$\dot{H} = \dot{H}_c + \dot{H}_d + \dot{H}_e + \dot{H}_i + \dot{H}_r \quad (9)$$

4.2 Warmteafgifte door straling

4.2.1 Straling van de huid

De golflengte van de straling van de menselijke huid is 3–40 μm . De golflengte van maximale intensiteit (λ_{max}) is overeenkomstig de wet van Wien afhankelijk van de absolute temperatuur. Voor een huidtemperatuur van 30°C geldt $\lambda_{max} = 9.6 \mu\text{m}$, voor 35°C geldt $\lambda_{max} = 9.4 \mu\text{m}$. De stralingscoëfficiënt van de huid (e_s), dit is de straling van de huid als fractie van de straling van een zwart lichaam van dezelfde temperatuur, is voor de golflengte van 3–40 μm niet konstant^{43, 54, 134}. De stralingscoëfficiënt is voor de golflengte van 6–10 μm echter nagenoeg 1.0, zodat

de huid zich voor straling met een golflengte van $9.4\text{--}9.6\ \mu\text{m}$ als een zwart lichaam gedraagt. De warmteafgifte door straling wordt bepaald door het verschil van de hoeveelheid energie die wordt uitgestraald (emissie), en de hoeveelheid energie die door straling van lichamen van buiten wordt opgenomen (absorptie). Straling van buitenaf met een golflengte van $6\text{--}10\ \mu\text{m}$ wordt vrijwel volledig geabsorbeerd, straling met een golflengte van $0.3\text{--}4\ \mu\text{m}$ wordt voor de helft geabsorbeerd en voor de andere helft gereflecteerd⁵⁵. Bij $22\text{--}26^\circ\text{C}$ (dus onder de neutrale omgevingstemperatuur) bedraagt de warmteafgifte door straling van de ongeklede volwassene ongeveer 70% van de totale warmteafgifte. Bij 31°C bedraagt deze 50% en bij 35°C wordt geen warmte door straling afgegeven. Bij de neutrale omgevingstemperatuur bedraagt de warmteafgifte door straling van een voldragen ongeklede pasgeborene ongeveer 30% van de totale warmteafgifte^{29, 98}.

4.2.2 Direkte bepaling van de warmteafgifte door straling

De direkte bepaling van de straling van de huid is op verschillende manieren mogelijk^{100, 102, 105, 106}. Bepaling met de bolometer is het meest gebruikelijk. Een bolometer is een apparaat waarin straling met behulp van thermo-elektrische elementen wordt omgezet in een elektrisch signaal, waardoor het mogelijk is de infrarode straling van de huid te meten en de warmteafgifte te berekenen. Door op vele plaatsen van het lichaam metingen te verrichten, is de totale warmteafgifte door straling te bepalen. Deze niet-eenvoudige methode is onder meer door Hardy en Dubois⁵⁶ bij volwassenen toegepast. In de kliniek worden bolometers gebruikt om de straling van beperkte delen van de huid te meten, waardoor het mogelijk is geringe lokale temperatuurverschillen van de huid aan te tonen. Verschillen komen onder meer voor bij vaatafwijkingen, ontstekingsprocessen en tumoren (medische thermografie).

4.2.3 Indirekte bepaling van de warmteafgifte door straling

De warmteafgifte door straling (\dot{H}_r) kan worden berekend uit de gemiddelde huidtemperatuur (T_s), de gemiddelde temperatuur van de omgevende wanden en lichamen (T_w), het voor straling relevante lichaamsoppervlak (A_r), en de stralingscoëfficiënt van de huid (e_s). In dit geval geldt de vergelijking van Stefan-Boltzmann:

$$\dot{H}_r = A_r \cdot e_s \cdot \sigma (T_s^4 - T_w^4) \quad (10)$$

waarin σ de konstante van Stefan-Boltzmann voorstelt.

In een omgeving waarvan het oppervlak van de aan straling deelnemende wanden van dezelfde orde van grootte is als het aan straling deelnemende lichaamsoppervlak, zoals in een kleine couveuse, wordt de warmteafgifte door straling ook beïnvloed door de stralingscoëfficiënt van de omgevende wanden (e_w). Voor deze situatie geldt^{2, 23, 26, 70}

$$\dot{H}_r = \frac{1}{1 + \frac{A_r}{A_w} \cdot e_s \left(\frac{1}{e_w} - 1 \right)} \cdot A_r \cdot e_s \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_w^4) \quad (11)$$

waarin A_w het voor straling relevante deel van de omgevende wanden voorstelt. In de vergelijking is $\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8} \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, $e_s = 1.0$, e_w is afhankelijk van de aard van het materiaal, waarvan de omgevende wanden zijn gemaakt. Voor de indirecte bepaling van de warmteafgifte door straling moeten A_r , A_w , T_s en T_w worden bepaald. Dit levert verschillende problemen op. A_r , het deel van het lichaamsoppervlak dat uitstraalt, is bijvoorbeeld sterk afhankelijk van de lichaamshouding. Bij volwassenen in liggende (mummy) houding bedraagt A_r 78% van het totale lichaamsoppervlak, in zittende houding 75%⁹⁶. Voor pasgeborenen zijn geen waarden bekend. Bepaling van T_s is evenmin eenvoudig en kan in de praktijk slechts worden benaderd. Men kan dit bijvoorbeeld doen door de huidtemperatuur op zes plaatsen te meten en, zoals aangegeven door Klein en Scammon⁷⁶ daaruit T_s te berekenen. T_w kan op analoge wijze worden bepaald als T_s .

4.3 Warmteafgifte door convectie

4.3.1 Convectie aan het huidoppervlak

Het transport van warmte door een stromend gas of een stromende vloeistof wordt convectie genoemd. Boven de onbedekte huid wordt lucht, indien de luchttemperatuur lager is dan de huidtemperatuur, door geleiding verwarmd, hetgeen luchtstroming tot gevolg heeft (natuurlijke convectie). Luchtstroming door andere oorzaken, bijvoorbeeld door een propeller, doet de convectie toenemen (geforceerde convectie). De convectie begint niet direct op de huid, maar enkele mm ervan af. In direct contact met de huid wordt een stilstaande luchtlaag gevonden, waarvan de dikte afhankelijk van de luchtstroming en de kromming van het huidoppervlak, 4–8 mm bedraagt. De stilstaande luchtlaag vormt de enige warmte-isolatie van de onbedekte, onbehaarde huid. Aangezien het warmte-transport in de stilstaande luchtlaag door geleiding plaatsvindt en het warmtegeleidingsvermogen van lucht gering is, is de dikte van de stilstaande luchtlaag mede van invloed op de warmteafgifte door convectie. De stilstaande luchtlaag is bij

pasgeborenen, door de grotere kromming van het huidoppervlak, dunner dan bij volwassenen²⁶. Bij de ongeklede, zich in rust bevindende volwassene bedraagt de warmteafgifte door convectie, bij een omgevingstemperatuur van 23–32°C, 15–20% van de totale warmteafgifte. Bij 35°C is dit vrijwel nul. Voor pasgeborenen zijn geen waarden bekend.

4.3.2 Bepaling van de warmteafgifte door convectie

De warmteafgifte door convectie kan op indirecte wijze worden bepaald uit de huidtemperatuur (T_s), de temperatuur van de lucht buiten de stilstaande luchtlaag (T_a), het voor convectie relevante lichaamsoppervlak (A_c) en de gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt van de stilstaande luchtlaag (\bar{h}_c).

$$\dot{H}_c = \bar{h}_c \cdot A_c \cdot (T_s - T_a) \quad (12)$$

Problemen bij de bepaling van T_s en T_a zijn in 4.2.3. genoemd. A_c is eenvoudig te bepalen als de warmteafgifte door convectie wordt bepaald voor een beperkt huidoppervlak. Voor het gehele lichaam zijn geen waarden bekend; wel is bekend dat A_c afhankelijk is van de lichaamshouding³³. \bar{h}_c is afhankelijk van de snelheid, richting, dichtheid en viscositeit van de lucht buiten de stilstaande luchtlaag^{32, 33, 139} en kan alleen experimenteel bepaald worden. Pfleider en Bütner²⁶ vonden voor volwassenen een waarde van 3.3 en voor jonge kinderen van 4.0 W·m⁻²·°C⁻¹. Clark en Toy^{32, 33} vonden dat voor het hoofd van een volwassene bij een luchtsnelheid van 0.15 m·s⁻¹ geldt $\bar{h}_c = 3.4$ W·m⁻²·°C⁻¹ en $\dot{H}_c = 4.2$ W. Bij een luchtsnelheid van 1.4 m·s⁻¹ geldt $\bar{h}_c = 12.2$ W·m⁻²·°C⁻¹ en $\dot{H}_c = 15.0$ W. Winslow, Gagge en Herrington¹³⁹ hadden al eerder waargenomen dat \dot{H}_c bij volwassenen afneemt met een faktor 3.2 als de luchtsnelheid van 2.0 tot 0.2 m·s⁻¹ afneemt. De warmteafgifte door convectie wordt dus in belangrijke mate beïnvloed door de luchtsnelheid. In een couveuse met geforceerde convectie is de luchtsnelheid boven het matras 0.04–0.10 m·s⁻¹ en bij de uitstroomopening 0.10–0.30 m·s⁻¹. In een couveuse met natuurlijke convectie is de luchtsnelheid boven het matras 0.03–0.08 m·s⁻¹⁶⁴. Bij volwassenen bedraagt de warmteafgifte door convectie ongeveer 45% van de warmteafgifte door straling en convectie ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$)²⁹, bij pasgeborenen is dit ongeveer even groot⁹⁸. Voor pasgeborenen zijn geen nauwkeurige waarden bekend.

4.4 Warmteafgifte door conductie

4.4.1 Conductie vanaf de huid

Onder conductie verstaan we het transport van warmte door geleiding. Buiten het

lichaam vindt warmtetransport door conductie plaats in de zich op de huid bevindende stilstaande luchtlaag en door vaste stoffen en vloeistoffen die in contact met de huid staan. De warmteafgifte door conductie in de stilstaande luchtlaag komt kwantitatief overeen met de warmteafgifte door convectie (4.3) en is hiervan praktisch niet te scheiden. Bij de warmteafgifte door conductie gaat het dus alleen om de geleiding door andere stoffen die in contact staan met de huid. De pasgeborene in de couveuse kan door het contact met het matras warmte door conductie afgeven. In de praktijk is de hoeveelheid warmte die aan het matras wordt afgegeven ongeveer 10% van de totale warmteafgifte. In een couveuse met natuurlijke convectie kan zelfs warmte naar het kind worden toegevoerd doordat de temperatuur onder het matras vaak hoger is dan de lichaamstemperatuur⁶⁴.

4.4.2 Bepaling van de warmteafgifte door conductie

Direkte bepaling van de warmteafgifte door conductie kan onder meer plaatsvinden met behulp van Hatfield-Turner *heat flow discs*¹¹ die bij de pasgeborene tussen de huid en het matras kunnen worden aangebracht. Uit het warmtegeleidingsvermogen, het oppervlak en het temperatuurverschil tussen de beide contactplaatsen (huid en matras) van de *heat flow discs* kan de warmteafgifte door conductie worden bepaald. De warmteafgifte door conductie \dot{H}_d kan op indirecte wijze worden bepaald uit het huidoppervlak in contact met het matras (A_d), de huidtemperatuur op de contactplaats (T_s), de temperatuur van de onderzijde van de matras (T_m), het warmtegeleidingsvermogen (c_m) en de dikte van het matras (l).

$$\dot{H}_d = c_m \cdot A_d \cdot \frac{(T_s - T_m)}{l} \quad (13)$$

Het warmtegeleidingsvermogen van een schuimplastic matras is zeer gering. Dit is ongeveer gelijk aan het warmtegeleidingsvermogen van stilstaande lucht ($c_m = 6.05 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

4.5 Warmteafgifte door verdamping

4.5.1 Verdamping vanaf de huid en uit de luchtwegen

De voor verdamping van een vloeistof benodigde warmte wordt aan de vloeistof zelf

en aan de omgeving onttrokken. De verdamping van een vloeistof op huid en slijmvliezen heeft dus afgifte van warmte tot gevolg. Bij de bepaling van de warmteafgifte door verdamping op huid en slijmvliezen (\dot{H}_e) gaat men ervan uit dat alle voor de verdamping benodigde warmte aan huid of slijmvliezen wordt onttrokken. Bij de mens vindt warmteafgifte door verdamping op twee manieren plaats, en wel door voortdurende verdamping van water uit de huid en de luchtwegen, van oudsher *perspiratio insensibilis* genoemd, en door verdamping van op de huid voorkomend zweet. In de praktijk rekent men de verdamping van niet op de huid zichtbaar zweet ook tot de *perspiratio insensibilis*. Voor de verdamping van water en zweet is een hoeveelheid warmte van $0.581 \text{ kcal} \cdot \text{g}^{-1}$ benodigd¹³⁵.

In tabel 4 is een overzicht gegeven van de warmteafgifte door *perspiratio insensibilis* van pasgeborenen en zuigelingen. In deze tabel zijn alleen de onderzoeken opgenomen die verricht zijn in de eerste levensweken en waarvan de uitkomsten in vergelijkbare eenheden waren weergegeven. De gegevens van de auteurs die konden worden uitgedrukt in eenheden per d per kg of per d per m^2 zijn gebruikt. De bevindingen van Law⁷⁹ bijvoorbeeld konden door gebrek aan gegevens niet worden omgerekend. Voor de *perspiratio insensibilis* en de warmteafgifte door *perspiratio insensibilis* zijn verschillende waarden gevonden. Uit de gegevens van Fanaroff et al⁴⁵ en van Wu en Hodgman¹⁴³ kan worden afgeleid dat de *perspiratio insensibilis* bij pasgeborenen met een laag geboortegewicht veel hoger is dan van pasgeborenen met een normaal geboortegewicht. Uit de gegevens van Day et al³⁴, Hey en Katz⁶⁵, Ryser en Jéquier¹¹¹, Oh en Karechi¹⁰¹ en Zweymuller en Preining¹⁴⁷ blijkt dit niet. Het is de vraag op welke wijze deze verschillen kunnen worden verklaard. Waarschijnlijk spelen verschillen in temperatuur, lichtsnelheid en vochtigheid tijdens de metingen een rol. De waarnemingen van Day et al.³⁴, Zweymuller en Preining¹⁴⁷, Hey en Katz⁶⁵ en Ryser en Jéquier¹¹¹ zijn gedaan in experimentele klimaatkamertjes waarvan de temperatuur van de wand, de lucht en de vochtigheid bekend waren en nauwkeurig konden worden geregeld. De waarnemingen van Fanaroff et al⁴⁵, Oh en Karechi¹⁰¹ en Wu en Hodgman¹⁴³ zijn daarentegen gedaan in convectiecouveuses. Men kan hieruit afleiden dat de *perspiratio insensibilis* van pasgeborenen met een laag geboortegewicht in de convectiecouveuse hoger is dan in experimentele klimaatkamertjes. Welke factoren hier van invloed zijn is niet direkt aan te geven. De waarneming van Fanaroff et al⁴⁵ dat de verdamping van een pan met water in de convectiecouveuse afneemt als de pan onder een perspex warmteschild wordt geplaatst, illustreert de invloed van de omstandigheden in de couveuse. Behalve de omstandigheden in couveuse kan door de Hey en Katz⁶⁵ gevonden relatie tussen *perspiratio insensibilis* en metabolisme een rol hebben gespeeld. De *perspiratio insensibilis* vindt plaats uit de huid en de luchtwegen in een verhouding van 2:3 als het kind in rust is¹⁰⁰. De *perspiratio insensibilis* op de huid is afhankelijk van de houding van het individu en neemt met het maken van bewegingen toe^{65, 147}. Zeep maakt de doorlaatbaarheid voor water van de menselijke huid

Tabel 4. Overzicht van de perspiratio insensibilis (\dot{m}_{H_2O}) en de warmteafgifte door perspiratio insensibilis (\dot{H}_e), gerangschikt naar geboortegewicht

Auteur	Geboortegewicht (kg)	Levensdag (d)	\dot{H}_e				\dot{m}_{H_2O}	
			(kcal · d ⁻¹ · kg ⁻¹)	(kcal · d ⁻¹ · m ⁻²)	(kJ · d ⁻¹ · kg ⁻¹)	(kJ · d ⁻¹ · m ⁻²)	(g · d ⁻¹ · kg ⁻¹)	(g · d ⁻¹ · m ⁻²)
Fanaroff et al. ⁴⁵	0.7–1.2	2–10	48.1±15.9	458.4–159.1	201.4–66.6	1919.2±666.1	82.8–27.4	788.9±273.8
Wu en Hodgman ¹⁴³	< 0.1	4.8±0.6	87.3±2.6	378.6±34.1	156.2±10.9	1585.1±142.8	64.2±4.4	651.7±58.7
	0.7–1.2	11–50	30.5±13.1	295.6±121.3	127.7±54.8	1237.7±506.9	52.6±22.6	508.8±208.8
	1.0–1.25	5.0±0.6	32.4±4.3	304.4±56.1	135.7±18.0	1274.5±75.4	55.7±7.4	523.9±96.6
	1.25–1.5	4.9±0.9	22.3±4.1	214.4±39.8	93.4±17.2	897.6±166.6	38.4±7.1	369.1±68.5
	1.3±0.17	13.0±1.0	28.8±4.2	---	120.6±17.6	---	49.6±7.2	---
	1.3–1.8	11–50	20.2±4.1	218.6±49.4	84.6±17.7	915.2±206.8	34.8±7.0	376.3±85.0
Fanaroff et al. ⁴⁵	1.3–1.8	2–10	19.6–6.2	209.7±65.9	82.1±26.0	878.0±275.9	33.8±10.6	361.0±113.5
Hey en Katz ⁶⁵	1.52±0.3	2–10	---	159.0±19.5	---	665.7±81.6	---	273.6±33.6
Wu en Hodgman ¹⁴³	1.5–1.75	4.9±0.9	12.8±3.5	126.9±35.3	53.6±14.7	531.3±147.8	22.1±6.1	218.4±60.7
	1.75–2.0	4.9±0.8	9.7±2.1	99.1±21.6	40.6±8.8	414.9±90.4	16.7±3.6	170.6±37.1
	1.8±0.16	12.2±1.1	28.8±4.2	---	120.5±17.6	---	49.6±7.2	---
Day et al. ³⁴	1.8–2.4	4–7	---	218.4–331.2	---	914.4–1386.7	---	---
	1.4–2.4	8–14	---	218.4–566.4	---	914.4–2371.4	---	---
Hey en Katz ⁶⁵	1.0–4.5	0–2	---	109.6–174	---	458.9±72.9	---	188.6±30.0
	1.0–4.5	2–10	---	150.7–23.4	---	631.0±98.0	---	259.4±40.3
	2.66±0.69	2–10	---	150.6–23.7	---	630.5±99.3	---	259.2±40.8
Ryser en Jéquier ¹¹¹	2.3–3.8	0–1	8.1±0.3	---	33.9±1.3	---	---	---
Zweymuller en Preining ¹⁴⁷	2.4–4.6	0–2	*(O) 5.4±0.5	88.7±8.9	22.6±2.1	371.4±37.3	(O) 9.36±0.9	152.6±15.4
	2.4–4.6	0–2	(A') 6.5±1.0	104.2±14.9	27.2±4.2	436.3±62.4	(A') 11.1±1.7	179.3±25.7
	2.4–4.6	0–2	(B) 8.1±0.9	133.7±10.1	33.9±3.8	559.8±42.3	(B) 14.0±1.5	230.1±17.3
	2.4–4.6	0–2	(C) 9.4–1.2	151.3±23.3	39.4±5.0	633.5±97.6	(C) 16.1±2.1	260.4±40.1
Oh en Karechi ¹⁰¹	3.2–0.1	2–10	22.3±4.2	---	93.4±17.6	---	38.4±7.2	---
Hey en Katz ⁶⁵	3.39±0.4	2–10	---	147.8±27.9	---	618.8±116.6	---	254.4±48.0

* Met (O), (A'), (B) en (C) wordt de activiteit van het kind aangegeven¹⁴⁷.

aanzienlijk (reversibel) groter¹⁴. Bij ratten hebben verhoging van de bloeddruk en verlaging van de colloid-osmotische druk van het bloedplasma verhoging van de doorlaatbaarheid voor water van de huid tot gevolg. Bij fototherapie en bij verwarming van de pasgeborene, met behulp van infrarode straling neemt de perspiratio insensibilis volgens Oh en Karechi¹⁰¹ en Wu en Hodgman¹⁴³ aanzienlijk toe. In hoeverre deze toename afkomstig is van huid of van de luchtwegen is niet nagegaan. Het verhogen van de vochtigheid van de lucht geeft een daling van de perspiratio insensibilis. Volgens O'Brien et al¹⁰⁰ en Hey en Katz⁶⁵ is deze daling voornamelijk het gevolg van daling van de verdamping in de luchtwegen en beïnvloedt verhoging van de vochtigheid van de lucht de verdamping van de huid vrijwel niet.

4.5.2 Bepaling van de perspiratio insensibilis

De perspiratio insensibilis kan direkt worden bepaald door de proefpersoon in een gesloten kamer te brengen die continu met lucht wordt doorstroomt. Als de instromende lucht droog is, kan de hoeveelheid water in de uitstromende lucht worden bepaald door weging van de lucht, door afkoeling van de lucht waardoor de waterdamp condenseert, of door absorptie van water met behulp van chemische stoffen²⁴. Bevat de instromende lucht wel waterdamp, hetgeen nodig is indien men de perspiratio insensibilis bij verschillende vochtigheid van de lucht wil bepalen, dan kan men door bepaling van de vochtigheid, de temperatuur en de stroomsterkte van het in- en uitstromende gas bij bekende barometerdruk de hoeveelheid water die door de proefpersoon is afgegeven, berekenen. Voor bepaling van de vochtigheid van de lucht kan men onder meer gebruik maken van een dauwpuntmeter, een natte en droge bolthermometer²⁴, of van methoden voor de bepaling van het watergehalte van chemische stoffen.

De verdamping heeft een continue gewichtsvermindering van het lichaam tot gevolg. Bepaling van de gewichtsvermindering geeft een maat voor de verdamping. De gewichtsvermindering kan op verschillende manieren worden bepaald. In de eerste plaats kan men een nauwkeurige balans maken van het gewicht van de door het kind opgenomen voedingsstoffen, de excreta (faeces, urine) en de veranderingen in het lichaamsgewicht. Deze methode is door Fanaroff et al⁴⁵ toegepast. In de tweede plaats is de perspiratio insensibilis af te leiden uit de continue gewichtsvermindering die valt waar te nemen als men het kind langdurig op een weegschaal plaatst. De laatste methode is door enkele onderzoekers toegepast. Hierbij moet rekening worden gehouden met het verschil in gewicht tussen de door het kind opgenomen O₂ en afgegeven CO₂. Bij een respiratoir quotient van 0.73 valt dit verschil weg. De meeste onderzoekers hebben met dit verschil door het ontbreken

van een bepaling van O_2 en CO_2 geen rekening gehouden; sommigen gebruiken een konstante korrektiefactor.

4.5.3 Zweetsecretie

Bij pasgeborenen is de hoeveelheid zweet niet alleen afhankelijk van de lichaamstemperatuur en de omgevingstemperatuur, maar ook van het vermogen tot zweetsecretie. Bij kinderen geboren in de 30e zwangerschapsweek is enige zweetsecretie mogelijk. De zweetsecretie neemt met de duur van de zwangerschap en de leeftijd van het kind toe⁶⁵. Bij kinderen geboren in de 35e zwangerschapsweek is de zweetsecretie ongeveer gelijk aan die van de normale pasgeborene. In de eerste 10 levensdagen kan de verdamping door zweetsecretie en perspiratio insensibilis bij kinderen geboren na 30–35 zwangerschapsweken maximaal ongeveer twee maal zo groot zijn als de verdamping door perspiratio insensibilis alleen. Bij normale pasgeborenen is dit ongeveer driemaal zo groot.

4.6 Warmteverlies aan het voedsel

De mate waarin warmteverlies aan voeding (\dot{H}_i) bij de pasgeborenen bijdraagt aan de totale warmteafgifte is gering. Dit kan het beste aan de hand van een voorbeeld worden nagegaan. Een pasgeborene van 2.0 kg lichaamsgewicht (7 d oud) krijgt $300 \text{ ml} \cdot \text{d}^{-1}$ voeding. De temperatuur van de voeding is meestal iets lager dan de lichaamstemperatuur van het kind. Indien het verschil tussen de temperatuur van de voeding en de lichaamstemperatuur van het kind 4.0°C bedraagt is er ongeveer $1.2 \text{ kcal} \cdot \text{d}^{-1}$ nodig om de voeding tot lichaamstemperatuur te verwarmen. Ten opzichte van de totale warmteafgifte van het kind ($100 \text{ kcal} \cdot \text{d}^{-1}$) is dit verwaarloosbaar.

Hoofdstuk 5

METHODEN

5.1 Overzicht van de methode van onderzoek

Het onderzoek had tot doel de warmteproductie en de verdamping van pasgeborenen van verschillend geboortegewicht in de in de Groningse Kinderkliniek in gebruik zijnde couveuse te bepalen. Voor de bepaling van de warmteproductie werd gebruik gemaakt van indirecte calorimetrie (3.1.4 – 3.1.8). O₂ opname en CO₂ afgifte werden met behulp van de diaferometer van Noyons (Firma Kipp en Zonen, Delft) bepaald. De verdamping van het kind werd, rekening houdende met het gewicht van opgenomen O₂ en afgegeven CO₂ (4.5.) uit de continue gewichtsvermindering (balans) bepaald. Hieruit kan de warmteafgifte door verdamping worden berekend. Bij konstante lichaamstemperatuur kan de warmteafgifte door straling en convectorie worden benaderd door de warmteproductie te verminderen met de warmteafgifte door verdamping.

De pasgeborenen werden ongekleed op de balans in de couveuse gelegd. Teneinde gewichtsverandering door verlies van faeces of urine te voorkomen werd een plastic zakje zorgvuldig om anus en genitaal geplakt. Tijdens de metingen geproduceerde urine en faeces werden dus meegewogen. Intraveneuze infusies werden tijdens de metingen gekontinueerd. Dit gebeurde door een spuit met een inhoud van 20 ml, voorzien van een veer, aan te sluiten aan het intraveneuze infuussysteem. Spuit en veer werkten als een eenvoudige infuuspomp, de stroomsnelheid van de infuusvloeistof werd met behulp van een klemmetje geregeld. Indien het kind voeding door een catheter in de maag kreeg toegediend, werd een spuit met een inhoud van 20 ml op de catheter aangesloten. Hiermee werd met regelmatige tussenpozen voeding gegeven. Infuus- en voedingssystemen werden tijdens de metingen meegewogen en hadden dus geen invloed op de gewichtsverandering van het kind. Bij pasgeborenen die flesvoeding kregen werd na voeding met de metingen begonnen. De lichaamstemperatuur van het kind werd tijdens de metingen op twee plaatsen bepaald en elke 5 min afgelezen. Een (elektrische) thermometer werd diep rectaal aangebracht, een tweede op de huid in de regio epigastrica. Tijdens de

bepaling van de gewichtsvermindering werd de meting van de lichaamstemperatuur onderbroken. De temperatuur in de couveuse werd volgens Hey⁶¹ naar geboortegewicht en levensdag ingesteld (neutrale omgevingstemperatuur). Na een verblijf van 0.5 tot 1 h in de couveuse werd begonnen met de registratie van O₂ opname, CO₂ afgifte, gewichtsvermindering, lichaamstemperatuur, couveusetemperatuur en vochtigheid. Het lichaamsgewicht werd voor en na de metingen bepaald (Berkel, type Piccolo op 10 g afleesbaar) en het gemiddelde hiervan genomen.

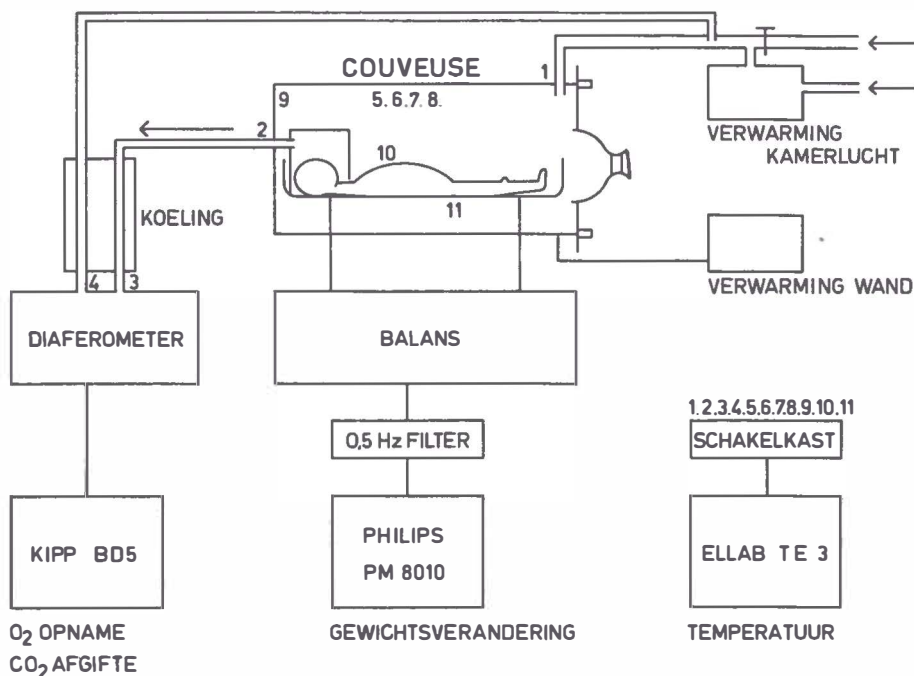


Fig. 3 Schematisch overzicht van de proefopstelling.

5.2 Beschrijving van de proefopstelling

Centraal in de proefopstelling (fig. 3) stond de Groningse couveuse. Deze bestaat uit een perspex cylinder waarvan de diameter 30 cm, de lengte 60 cm en de inhoud 41.8 l bedraagt. De cylinder is aan één zijde door een perspexwand afgesloten (afsluitplaat), aan de andere zijde is een perspex deurtje aangebracht met daarin een afsluitbare manchet. Het kind kan via het deurtje in de couveuse worden gelegd en

is door de manchet voor handelingen toegankelijk. De temperatuur van de couveusewand en de couveuselucht kunnen afzonderlijk worden geregeld. De couveusewand wordt verwarmd met behulp van hierop aan de buitenzijde aangebrachte draden waarvan de temperatuur met behulp van een elektrische stroom van wisselende sterkte wordt geregeld. De temperatuur van de couveusewand werd op verschillende plaatsen gemeten. Een deel van de in de binnenstromende lucht werd over een verwarmde plaat geleid. De temperatuur van de in de couveuse binnenstromende lucht werd door menging van verwarmde met niet-verwarmde lucht geregeld. De temperatuur werd op 11 plaatsen in de proefopstelling met thermokoppels gemeten (fig. 3, 1–11). De temperatuur van de couveuselucht werd gemeten op de plaats waar de lucht de couveuse binnenstroomde (1) en op de plaats waar deze de couveuse verliet (2). De temperatuur van het de diaferometer binnenstromende meetgas (3) en referentiegas (4) werd aan de ingang van de diaferometer gemeten. De temperatuur van de couveusewand werd op vijf verschillende plaatsen gemeten (5, 6, 7, 8 en 9). De lichaamstemperatuur van het kind werd op twee plaatsen (10, 11) gemeten.

Voor de bepaling van O_2 opname en CO_2 afgifte werd gebruik gemaakt van een diaferometer. Deze stond naast de couveuse opgesteld. Uitademingsgas van het kind werd door de diaferometerpomp uit een om het hoofd aangebrachte plastic zak weggezogen en na koeling naar de diaferometer geleid. Het voor de bepaling noodzakelijke referentiegas werd ontleend aan de luchtstroom die aan de couveuse werd toegevoerd. De uitslagen van de diaferometer werden continu geregistreerd (Kipp, BD5).

Voor de continue bepaling van de gewichtsverandering werd gebruik gemaakt van een voor dit doel ontworpen balans (Prof. Dr. H. de Vries). De balans stond onder de couveuse, het matras van het kind was via gasdichte en vrijwel wrijvingsloze* doorvoeren door de couveusewand op de balans bevestigd. Gewichtsveranderingen werden omgezet in een elektrisch signaal dat continu werd geregistreerd (Philips PM 8010). Om de invloed van de adembewegingen van het kind op de uitslag tegen te gaan was een 0.5 Hz filter geplaatst tussen balans en recorder.

5.3 Bepaling van het klimaat in de couveuse

5.3.1 Bepaling van de wand- en luchttemperatuur

De temperatuur van de couveusewand, het in- en uitstromende gasmengsel en de lichaamstemperatuur van het kind werden bepaald met behulp van koperkonstantan thermo-elementen aangesloten aan een galvanometer (Ellab TE3) met een temperatuurschaal van 16–46°C, tot op 0.1°C afleesbaar. De gebruikte thermo-

meters werden genummerd van 1 t/m 11 en op overeenkomstig genummerde plaatsen aan een schakelkastje aangesloten. Door een toets op het schakelkastje in te drukken kon de temperatuur van de overeenkomstig genummerde thermometer worden afgelezen.

De werking van het gehele systeem werd gecontroleerd door iedere (elektrische) thermometer aan het reservoir van een kwikthermometer te bevestigen en in een waterbad onder te dompelen. Als kwikthermometer werd een door de fabrikant (Junkers, kalorie-thermometer) geijkte thermometer gebruikt met een schaal van 0–50°C en een verdeling tot 0.1°C. De ijking van de (elektrische) thermometers werd verricht bij zes verschillende temperaturen van het waterbad tussen 27 en 36°C. Er werden voor elke thermometer konstante verschillen van –0.1 tot –0.3°C gevonden. Deze verschillen werden bij de metingen in rekening gebracht.

Voor de bepaling van de couveusewandtemperatuur (T_w) werd op vijf plaatsen op de couveusewand een thermometer aangebracht: vier op de cylinder (T_5, T_6, T_7, T_8) en één op de afsluitplaat (T_9). De verschillen tussen T_5, T_6, T_7, T_8 en T_9 waren altijd kleiner dan 1.0°C. T_w werd gelijk gesteld aan het gemiddelde van T_5 t/m T_9 .

Voor deze berekening is aangenomen dat T_5 t/m T_8 de temperatuur van de verwarmde cylinderwand vertegenwoordigen en T_9 de temperatuur van de verwarmde afsluitplaat. De temperatuur van het niet-verwarmde couveusedeurtje werd gelijk gesteld aan T_9 . De couveusewandtemperatuur (T_w) kan dan worden berekend uit de som van de bijdrage hierin van de cylinderwand, en van afsluitplaat en couveusedeurtje. De bijdrage van de cylinderwand werd berekend door de fraktie die het oppervlak hiervan van het totale wandoppervlak uitmaakt (0.8) te vermenigvuldigen met het gemiddelde van T_5 t/m T_8 . De bijdrage van afsluitplaat en couveusedeurtje werd berekend door de fraktie die het oppervlak hiervan van het totale wandoppervlak uitmaakt (0.2) te vermenigvuldigen met T_9 . Aangezien deze frakties 0.8 en 0.2 zijn, komt de waarde van T_w neer op het gemiddelde van T_5 t/m T_9 . Bij deze berekening wordt voor het niet verwarmde couveusedeurtje waarschijnlijk een te hoge temperatuur aangenomen. De geïntroduceerde fout kan echter niet groot zijn, omdat het oppervlak van het couveusedeurtje slechts 10% bedraagt van het totale wandoppervlak. Warmtebronnen waarvan de temperatuur veel hoger is dan de couveusewandtemperatuur, zodat een broeikas effect kan volgen (2.3), waren in het vertrek waarin de metingen werden verricht, niet aanwezig.

De temperatuur van de couveuselucht werd bij de inlaatopening en de uitlaatopening in de couveusewand met behulp van een centraal in de opening geplaatste thermometer (T_1 en T_2) gemeten. Temperatuurveranderingen van de couveusewand hadden geen invloed op T_1 en T_2 . Het verwarmingssysteem dat de kamerlucht die de couveuse binnenstroomde, verwarmde, werd zodanig geregeld dat T_1 nagenoeg gelijk aan de T_w was. Als gevolg van de warmteafgifte van het kind was altijd $T_2 > T_1$. De temperatuur van de lucht in de couveuse (T_a) werd gelijk gesteld aan het gemiddelde van T_1 en T_2 .

5.3.2 Bepaling van de vochtigheid van de couveuselucht

Tijdens metingen werd de vochtigheid van de couveuselucht bepaald met behulp van een aspiratiepsychrometer (Haenni) en een haarhygrometer (Thies). De haarhygrometer was in de couveuse bevestigd om veranderingen in de vochtigheid van de couveuselucht te signaleren. De haarhygrometer was met behulp van de aspiratiepsychrometer in lucht van verschillende vochtigheid geijkt. Een aspiratiepsychrometer bestaat uit een natte en een droge bolthermometer, waarvan de bollen zich in een buis bevinden. Het te analyseren gas wordt met behulp van een rotor met een bekende snelheid langs de natte en de droge bol gezogen. Uit het temperatuurverschil van de natte en de droge bol is de vochtigheid van het gas af te leiden. Couveuselucht werd tijdens metingen door een hiertoe in de wand aangebrachte opening gezogen en de vochtigheid met de aspiratiepsychrometer bepaald. Veranderingen van de vochtigheid van de couveuselucht werden alleen gekonstateerd wanneer het plastic zakje voor het verzamelen van urine had losgelaten en lekte of wanneer het kind zichtbaar zweet produceerde. In beide gevallen werd de proef beëindigd.

5.3.3 Bepaling van de luchtsnelheid in de couveuse

De luchtsnelheid in de couveuse werd bepaald met behulp van een thermo-elektrische anemometer (Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O., Delft). De werking van deze anemometer berust op de invloed van de luchtsnelheid op het temperatuurverschil van twee op ongeveer 2 cm van elkaar geplaatste bolletjes, waarvan er één elektrisch wordt verwarmd. De temperatuur wordt in beide bolletjes met behulp van een thermo-element gemeten. Het temperatuurverschil van de bolletjes dient als maat voor de luchtsnelheid¹⁰⁷. Het apparaat is door de konstruktors in een windtunnel geijkt voor een luchtsnelheid van 0.05 tot 2.5 m·s⁻¹. Verandering van luchttemperatuur, straling, en de stand van de bolletjes ten opzichte van de richting van de luchtbeweging zouden weinig invloed hebben op de aanwijzing van de anemometer¹⁰⁷.

De couveuselucht werd tijdens de metingen met een konstante stroomsterkte afgezogen. Dit heeft tot gevolg dat de luchtsnelheid in de couveuse afhankelijk is van het volume van het kind. Het volume van het kind bepaalt immers het resterende volume waaruit konstant wordt afgezogen. Vanwege de grote breekbaarheid van het meetgedeelte van de anemometer kon de luchtsnelheid niet bij elke meting worden bepaald, maar werd volstaan met het bepalen van de luchtsnelheid in de lege couveuse en in de couveuse waarin zich een kind van 2.8 kg bevond. Op deze wijze werden grenzen van de luchtsnelheid geldende voor de proefnemingen bepaald.

Bij een gasstroomsterkte van $8416.9 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ werd op een afstand van 1 cm van de in- en de uitstroomopening in de couveuse een luchtsnelheid gemeten van $0.10 \pm 0.004 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($n=5$). Op een afstand van enkele centimeters van de in- en de uitstroomopening in de couveuse was de luchtsnelheid zo gering dat deze met de door ons gebruikte anemometer (minimale waarde $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) niet meer kon worden gemeten. Dit was ook het geval als een kind van 2.8 kg in de couveuse lag waardoor het resterende volume was afgenomen. Het bleek dus dat de luchtsnelheid in de couveuse lager was dan de minimale waarde die met de anemometer kon worden bepaald. Dit was ook wel te verwachten aangezien men uit de inhoud en de lengte van de couveuse en de stroomsterkte van het instromende gas kan berekenen dat de luchtsnelheid in de lege couveuse $0.002 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bedraagt indien de lucht zich gelijkmatig in de couveuse verdeeld, voortbeweegt. Ter vergelijking werd de luchtsnelheid boven de uitstroomopening en 5 cm boven het midden van het matras van een couveuse met geforceerde convectie (Ohio) bepaald. In deze couveuse werd 1 cm boven de luchtuitstroomopening een luchtsnelheid van $1.26 \pm 0.044 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($n=5$) gemeten en 5 cm boven het midden van het matras een luchtsnelheid van $0.120 \pm 0.004 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($n=5$).

5.4 Bepaling van de warmteproductie van de pasgeborene in de couveuse uit O_2 opname en CO_2 afgifte

5.4.1 Beschrijving van de diaferometer in de proefopstelling

Het gascircuit en het meetcircuit van de diaferometer zijn op vereenvoudigde wijze in fig. 4 afgebeeld. Meetgas (een mengsel van uitademingsgas en couveuselucht) wordt met behulp van pomp P uit het om het hoofd van het kind aangebrachte kapje H gezogen. De stroomsterkte van het meetgas (V_v) kan met behulp van weerstanden D en R worden geregeld en met behulp van manometer MA worden gecontroleerd. Een deel van het meetgas wordt door mengkamer M geleid. Van hieruit kan het meetgas via kraan C naar de meetkamers a en b in het meetblok ME worden geleid. Kraan C dient hiervoor in stand *deflection* (zoals getekend in fig. 4) te worden gezet. In deze stand wordt kamerlucht (referentiegas) door buis RA naar de compensatiekamers c en d in het meetblok ME geleid. Van het meetgas dat naar meetkamer a (O_2 kamer) wordt geleid, is CO_2 en H_2O met behulp van natronkalk en silicagel in A geabsorbeerd. Het meetgas dat naar meetkamer b (CO_2 kamer) wordt geleid, wordt in B verzadigd met H_2O . Van het referentiegas dat naar compensatiekamer d geleid wordt, wordt in A eveneens CO_2 en H_2O geabsorbeerd. Het referentiegas dat naar compensatiekamer c wordt geleid, wordt in B verzadigd met H_2O .

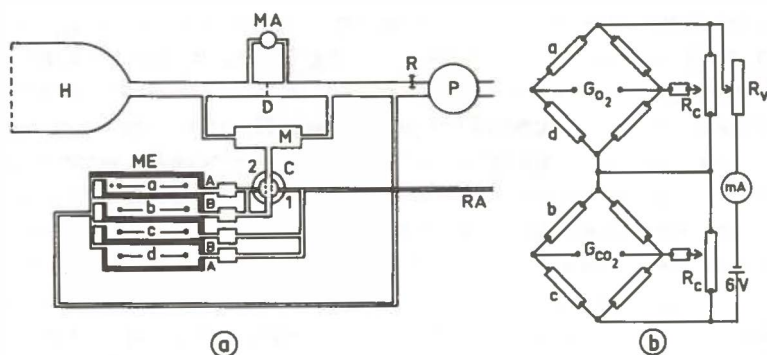


Fig. 4 Schematische weergave van het gascircuit (a) en het elektrisch circuit (b) van de diaferometer.

A absorptie van CO_2 en H_2O ; B verzadigen met H_2O ; D diafragma voor het regelen van de stroomsterkte waarmee het gas uit de ademkap H wordt aangezogen; H ademkap; C kraan, stand 1 kamerlucht naar meet- en compensatiekamers, stand 2 meetgas naar meetkamers (a en b), kamerlucht naar compensatiekamers (c en d); RA toevoerbuys voor kamerlucht; M mengkamer; MA manometer; ME meetblok; P pomp; R weerstand voor het nauwkeurig regelen van de stroomsterkte waarmee het gas vanuit de ademkap H wordt aangezogen; a, d meet- en compensatiekamer voor O_2 ; b, c meet- en compensatiekamer voor CO_2 .

a, b, c, d Pt draden van de meet- en compensatiekamers opgenomen in bruggen van Wheatstone.

G_{O_2} , G_{CO_2} galvanometers; mA milliamperemeter; R_c compensatiepotentiometers; R_v variabele weerstand.

De meetkamers (a en b) en de compensatiekamers (c en d) bevatten elk een Pt draad. Deze Pt draden (fig. 4 : a, b, c en d) zijn onderdeel van een brug van Wheatstone en worden gevoed met een konstante stroom van 100 mA. Veranderingen in de samenstelling van het gasmengsel dat door de meet- en compensatiekamers stroomt, heeft een verandering van het warmtegeleidingsvermogen tot gevolg en dit veroorzaakt een verandering in de temperatuur van de Pt draden. De hierdoor optredende verandering in de elektrische weerstand van de Pt draden heeft een uitslag van de in de brug van Wheatstone opgenomen galvanometers G tot gevolg. In onze opstelling werd in de plaats van de galvanometers een potentiometerschrijver met kanalenkiezer (Kipp, Micrograaf BD5/BA5) gebruikt. De schakeling van de Pt draden in meet- en compensatiekamers is zodanig (fig. 4) dat de uitslag van galvanometer G_{O_2} een maat is voor het verschil in volumefractie van O_2 in het meetgas en het referentiegas, terwijl de uitslag van galvanometer G_{CO_2} een maat is voor het verschil in volumefractie van CO_2 . Uit deze verschillen en de gasstroomsterkte \dot{V}_i , kunnen \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} afgeleid worden.

Het geheel van de absorptiebuisjes A, de meetkamers a en d, de galvanometer G_{O_2} en de bijbehorende registratie wordt O_2 kanaal genoemd, het geheel van de verzadigingsbuisjes B, de meetkamers d en c, de galvanometer G_{CO_2} en de bijbe-

horende registratie CO_2 kanaal. Voor de bepaling van \dot{V}_{O_2} en V_{CO_2} werd de volgende procedure gevolgd. Voor elke bepaling werden de natronkalk en de silicagel in de buisjes A vervangen, het peil van het water in buisjes B gecontroleerd. Nadat pomp P was aangezet, werd het plastic kapje H om het hoofd van het kind aangebracht en de gasstroomsterkte met behulp van weerstand R geregeld en met manometer MA gecontroleerd. Kraan C werd in stand *baseline* gezet. In deze stand wordt referentiegas (kamerlucht) door de meetkamers en de compensatiekamers geleid. De schrijvers van het O_2 kanaal en het CO_2 kanaal werden op een willekeurige plaats ingesteld. De in stand *baseline* van kraan C op het O_2 kanaal en het CO_2 kanaal geregistreerde lijn wordt basislijn genoemd. Nadat een rechte basislijn was verkregen, werd kraan C omgedraaid tot stand *deflection*; na 10-15 min werd kraan C teruggedraaid naar *baseline*. De in stand *deflection* geregistreerde uitslagen werden alleen dan omgerekend tot \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} indien deze ongeveer 5–10 min stabiel waren (fig. 5).

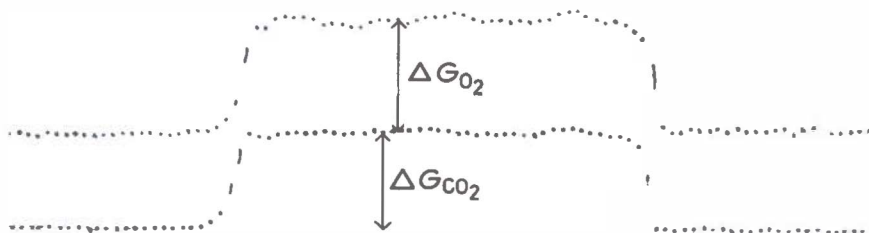


Fig. 5 Registratie van de uitslag van het O_2 kanaal (ΔG_{O_2}) en het CO_2 kanaal (ΔG_{CO_2}) van de diaferometer.

5.4.2 IJking van de diaferometer: inleiding

Voor de ijking van de diaferometer kan men gebruik maken van de door de fabrikant aangegeven methode. Hierbij worden O_2 en CO_2 afzonderlijk als ijkgas gebruikt. Deze gassen worden verkregen uit gascylinders waarin de volumefractie van O_2 ($F^c_{\text{O}_2}$) en CO_2 ($F^c_{\text{CO}_2}$) is bepaald. Beide ijkgasen worden afzonderlijk met bekende stroomsterkte (\dot{V}_{ij}) onder de ademkap H van de in werking gestelde diaferometer geleid. De stroomsterkte (\dot{V}_v) waarmee pomp P het meetgas uit de ademkap H wegzuigt, is eveneens bekend. Aangenomen wordt, dat de uitslag van het O_2 kanaal (ΔG_{O_2}) recht evenredig met de verandering van de volumefractie van O_2 in de O_2 meetkamer ($\Delta F^m_{\text{O}_2}$) is, en dat de uitslag van het CO_2 kanaal (ΔG_{CO_2}) recht evenredig is met de verandering van de volumefractie van CO_2 in de CO_2 meetkamer ($\Delta F^m_{\text{CO}_2}$). Volgens de fabrikant geldt voor de ijking

$$\Delta F^m_{O_2} = \frac{\dot{V}_{ij}}{\dot{V}_v} \cdot F^c_{O_2} \quad (14)$$

en

$$\Delta F^m_{CO_2} = \frac{\dot{V}_{ij}}{\dot{V}_v} \cdot F^c_{CO_2} \quad (15)$$

Uit $\Delta F^m_{O_2}$, $\Delta F^m_{CO_2}$ en de uitslag van de galvanometers ΔG_{O_2} en ΔG_{CO_2} kan de ijkkonstante van het O_2 kanaal (A) en het CO_2 kanaal (B) worden berekend. Wanneer zuivere O_2 en CO_2 worden gebruikt, is $F^c_{O_2} = 1.0$ en $F^c_{CO_2} = 1.0$. De ijkkonstantes worden dan berekend als

$$A = \frac{\dot{V}_{ij}}{\Delta G_{O_2} \cdot \dot{V}_v} \quad (16)$$

$$B = \frac{\dot{V}_{ij}}{\Delta G_{CO_2} \cdot \dot{V}_v} \quad (17)$$

Om een aantal redenen was het nodig de ijking van de diaferometer te herhalen. Bij onze metingen stond de diaferometer opgesteld in een kamer waarin de temperatuur ongeveer 10°C hoger is dan die waarin de diaferometer in de fabriek geijkt is. Hoewel de fabrikant correcties aangeeft voor gebruik bij hogere temperaturen, leek het ons raadzaam de ijking te herhalen in de omstandigheden waarin de diaferometer door ons werd gebruikt. Ook diende rekening gehouden te worden met het feit dat bij meting aan pasgeborenen in een couveuse de temperatuur van het meetgas wordt beïnvloed door de temperatuur van de couveuselucht. Er kan een verschil ontstaan tussen de temperatuur van het meetgas en het referentiegas wanneer het referentiegas wordt betrokken uit het vertrek waarin de couveuse staat opgesteld. Bij de door ons gebruikte diaferometer bleek het O_2 kanaal gevoelig te zijn voor het temperatuurverschil tussen meetgas en referentiegas. Wanneer meetgas werd betrokken uit een lege couveuse waarin de luchttemperatuur op 36°C werd gehouden, en referentiegas uit het vertrek waarvan de temperatuur 29°C bedroeg, gaf het O_2 kanaal een uitslag overeenkomstig met $\dot{V}_{O_2} = 8.8 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$, d.i. \dot{V}_{O_2} bij een pasgeborene van 1–2 kg. Aangenomen moet worden, dat ook in het meetblok van de diaferometer nog enig temperatuurverschil tussen meetgas en referentiegas aanwezig was, waardoor de temperatuur van de Pt draden van het O_2 kanaal werd beïnvloed en een uitslag van de galvanometer volgde. Het CO_2 kanaal vertoonde geen uitslag. Door het referentiegas af te zuigen uit de couveuse nabij de inlaatopening kon deze fout worden vermeden. Zowel meetgas als referentiegas werden vervolgens gekoeld tot de temperatuur van de kamer.

Een andere reden om de ijking te herhalen en te verbeteren, waren de bezwaren

die door Visser¹³³ en Ten Hoor et al.¹²⁹ tegen de ijkprocedure van de fabrikant, naar voren zijn gebracht. Hun voornaamste bezwaar is dat voor de ijking gebruik wordt gemaakt van ijkgas uit cylinders. De in deze cylinders voorkomende edelgassen kunnen door hun van O₂ en CO₂ verschillend warmtegeleidingsvermogen invloed hebben op de uitslag van de diaferometer¹³³ (5.4.1.). Voorts wordt door het gebruik van O₂ als ijkgas het meetgas in de diaferometer verrijkt met O₂, terwijl bij het gebruik van de diaferometer bij patiënten juist het omgekeerde het geval is¹²⁹. Ook treden tijdens het gebruik van de diaferometer bij patiënten door absorptie van CO₂ en H₂O veranderingen in de volumefrakties op van O₂, N₂ en CO₂, die bij de door de fabrikant gebruikte ijking niet optreden. Soortgelijke bezwaren gelden ook voor de ijking van het CO₂ kanaal met CO₂. Hierbij wordt immers alleen CO₂ voor de ijking gebruikt, terwijl bij gebruik van de diaferometer bij patiënten in het meetgas niet alleen veranderingen van CO₂, maar ook van O₂ plaatsvinden. Teneinde dit laatste in rekening te brengen, adviseert de fabrikant de uitslag van het CO₂ kanaal te verminderen met een fractie 0.1 van de uitslag van het O₂ kanaal. Besloten werd de diaferometer te ijken met uitademingsgas zoals beschreven door Ten Hoor et al.¹²⁹.

5.4.3. Ijking van de diaferometer met uitademingsgas: theorie

Ten Hoor et al.¹²⁹ voerden de begrippen schijnbare gevoeligheid (S') van het O₂ kanaal (S'^{O_2}) voor O₂ ($S'^{O_2}_{O_2}$) en schijnbare gevoeligheid van het CO₂ kanaal voor CO₂ ($S'^{CO_2}_{CO_2}$) en O₂ ($S'^{CO_2}_{O_2}$) in. $S'^{O_2}_{O_2}$ is de uitslag (ΔG_{O_2}) die ontstaat als de inhoud van de O₂ meetkamer, uitgaande van kamerlucht, geheel wordt vervangen door zuivere O₂ van 0°C (273 K). $S'^{CO_2}_{CO_2}$ is de uitslag (ΔG_{CO_2}) die ontstaat als de inhoud van de CO₂ meetkamer, uitgaande van kamerlucht, geheel wordt vervangen door met waterdamp verzadigde CO₂ van 0°C (273 K). De schijnbare gevoeligheid van het CO₂ kanaal voor O₂ ($S'^{CO_2}_{O_2}$) is de galvanometeruitslag (ΔG_{CO_2}) die ontstaat als de inhoud van de CO₂ meetkamer, uitgaande van kamerlucht, geheel wordt vervangen door met waterdamp verzadigde O₂ van 0°C (273 K). Zij namen aan dat de galvanometeruitslag evenredig is met \sqrt{T} . Voor de relatie tussen \dot{V}_{O_2} en ΔG_{O_2} werd vergelijking (18) afgeleid.

$$S'^{O_2}_{O_2} = - \frac{\Delta G_{O_2}(T) \cdot \dot{V}_v \cdot (1 - F^D_{CO_2} - F^D_{H_2O})}{\dot{V}_{O_2}} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (18)$$

waarin $F^D_{CO_2}$ en $F^D_{H_2O}$ de volumefractie van CO₂ en H₂O voorstellen in het gasmengsel dat door de diaferometerpomp P uit de ademkap H wordt gezogen. Voor de relatie tussen \dot{V}_{CO_2} , \dot{V}_{O_2} en ΔG_{CO_2} werd vergelijking (19) afgeleid.

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} \cdot S'_{\text{CO}_2} - \dot{V}_{\text{O}_2} \cdot S'_{\text{O}_2} = \Delta G_{\text{CO}_2} \cdot \dot{V}_v \cdot \frac{(1 - F_{\text{H}_2\text{O}}^D)}{(1 - F_{\text{H}_2\text{O}}^Z)} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (19)$$

waarin $F_{\text{H}_2\text{O}}^Z$ de volumefractie van H_2O van met waterdamp verzadigd gas voorstelt.

Voor het bepalen van S'_{O_2} , S'_{CO_2} en S'_{CO_2} moeten ΔG_{O_2} en ΔG_{CO_2} bepaald worden voor bekende \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} , terwijl tevens \dot{V}_v , T , $F_{\text{CO}_2}^D$, $F_{\text{H}_2\text{O}}^D$ en $F_{\text{H}_2\text{O}}^Z$ voor iedere bepaling bekend moeten zijn. Ten Hoor et al.¹²⁹ leiden hiertoe uitademingsgas met bekende konstante stroomsterkte (\dot{V}_p) en bekende volumefracties O_2 en CO_2 ($F_{\text{O}_2}^D$ en $F_{\text{CO}_2}^D$) onder de kap van de diaferometer. Voor de berekening van \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} werd uitgegaan van de vergelijkingen (20) en (21).

$$\dot{V}_{\text{O}_2} = \dot{V}_I \cdot F_{\text{O}_2}^I - \dot{V}_E \cdot F_{\text{O}_2}^E \quad (20)$$

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = \dot{V}_E \cdot F_{\text{CO}_2}^E - \dot{V}_I \cdot F_{\text{CO}_2}^I \quad (21)$$

Voor de ijking geldt $\dot{V}_p = \dot{V}_E$, $F_{\text{O}_2}^D = F_{\text{O}_2}^E$ en $F_{\text{O}_2}^P = F_{\text{CO}_2}^E \cdot \dot{V}_I$ wordt berekend uit \dot{V}_E , $F_{\text{O}_2}^E$, $F_{\text{CO}_2}^E$, $F_{\text{O}_2}^I$ en $F_{\text{CO}_2}^I$ met behulp van vergelijking (22).

$$\dot{V}_I = \dot{V}_E \cdot \frac{(1 - F_{\text{O}_2}^E - F_{\text{CO}_2}^E)}{(1 - F_{\text{O}_2}^I - F_{\text{CO}_2}^I)} \quad (22)$$

5.4.4. IJking van de diaferometer met uitademingsgas: uitvoering

Een schema van de opstelling gebruikt voor ijking met uitademingsgas is weergegeven in fig. 6. Voorafgaande aan de ijking wordt uitademingsgas verzameld in een gasdichte polyvinylchloride zak Z (inhoud 150 l). Tijdens de ijking wordt uitademingsgas vanuit de pvc zak met een membraanpompje Pm via de rotameter Ro met konstante snelheid (\dot{V}_p) onder ademkamp H van de diaferometer geleid. \dot{V}_p kan worden bepaald met behulp van de rotameter Ro met een bereik van 0–1000 ml·min⁻¹. Het systeem is voorzien van een naaldventiel N waarmee de drijver van de rotameter Ro op de gewenste stand kan worden ingesteld. Terwijl het gas onder de ademkap H wordt gepompt, kunnen via een slangetje gasmonsters worden afgenomen en geanalyseerd met een Haldane gasanalyse apparaat Ha.

De rotameter was voor twee verschillende standen van de drijver (400 en 600 ml·min⁻¹) gelijk door uitademingsgas uit de pvc zak met behulp van het membraanpompje via de rotameter naar een zeepvliesmeter te leiden. De tijd waarin een

zeepvlies over een bepaald volume werd verplaatst, is met behulp van een chronometer bepaald.

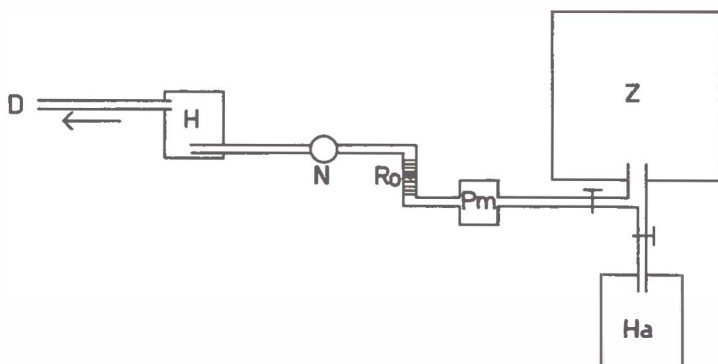


Fig. 6 Schematische weergave van de opstelling gebruikt voor ijking van de diaferometer met uitademingsgas.

D diaferometer; H ademkap; Ha Haldane gasanalyse apparaat; N naalddventiel; Pm pomp; Ro rotameter; Z pvc zak.

\dot{V}_v werd ingesteld voor een bepaalde stand van het diafragma D door de manometer MA met behulp van weerstand R (fig. 4) op een bepaalde waarde te zetten. De waarde van \dot{V}_v horend bij de stand waarop de manometer was ingesteld, werd gevonden door na te gaan in hoeveel tijd een bekend volume kamerlucht uit een pvc zak werd weggezogen. Voor de bepaling van dit volume werd de pvc zak met behulp van verplaatsing van een bekend watervolume met kamerlucht gevuld. De verplaatsing van een bekend watervolume in een gesloten systeem werd verkregen door twee gedeeltelijk met water gevulde glazen vaten aan de onderzijde met een flexibele slang te verbinden. De vaten waren aan de bovenzijde beide van een driewegkraan voorzien. In de beginstand (voor de verplaatsing) werden beide vaten op gelijke hoogte gezet en was de stand van het wateroppervlak in beide vaten gelijk. Hierna werd een van de vaten op een vaste verhoging geplaatst en de stand van de driewegkranen zodanig gezet dat met de verplaatsing van water van het ene vat naar het andere, is het ene vat lucht van buiten werd aangezogen en uit het andere vat lucht werd verdreven, tot het wateroppervlak in beide vaten weer op gelijke hoogte stond. De hoeveelheid verdreven lucht werd naar de pvc zak geleid. Het volume van de verdreven hoeveelheid lucht werd berekend uit het gewicht van de verplaatste hoeveelheid water (3.808 l bij 28.2°C en 752 mm Hg). Van tevoren was de pvc zak leeggezogen door gedurende 5 min een druk van -20 cm H₂O in de zak te handhaven. De met ongeveer 100 l kamerlucht gevulde zak werd door het omzetten van een driewegkraan aangesloten op een inlaatopening van de in werking gestelde diaferometer. De debietkiezer was ingesteld op een gasstroomsterkte van 8 l·min⁻¹. De stand van de manometer MA werd nauwkeurig gecontroleerd. De tijdsduur

waarover de diaferometer kamerlucht uit de zak aanzoo, werd met behulp van een chronometer bepaald. Wanneer de zak bijna was leeggezogen werd de driewegkraan weer omgezet. Het resterende volume werd met behulp van verplaatsing van een watervolume bepaald; de zak werd weer leeggezogen door gedurende 5 min een druk van $-20 \text{ cm H}_2\text{O}$ in de zak te handhaven.

Tijdens de ijkprocedure werden $F_{\text{O}_2}^I$, $F_{\text{CO}_2}^I$, $F_{\text{O}_2}^P$ en $F_{\text{CO}_2}^P$ met behulp van het Haldane gasanalyseapparaat bepaald. Tijdens de stand *baseline* van de diaferometer werden $F_{\text{O}_2}^I$ en $F_{\text{CO}_2}^I$ (kamerlucht) bepaald. Hierna werden tijdens de stand *deflection* $F_{\text{O}_2}^P$ en $F_{\text{CO}_2}^P$ bepaald in gasmonsters via een slangetje uit de pvc zak verkregen. De pvc zak werd drie keer gevuld met uitademingsgas. Uit een volle zak werden 10 uitslagen geregistreerd; tijdens de registraties werden meerdere analyses van kamerlucht en van het gas uit de pvc zak verricht. In totaal werden 30 uitslagen geregistreerd; 5 maal werd een uitslag geregistreerd waarbij CO_2 uit het zich in de pvc zak bevindende gas geabsorbeerd was. De uitslagen van het O_2 kanaal en het CO_2 kanaal werden van 10–15 min durende registraties afgelezen. De kamertemperatuur (T) en de barometerdruk (P_b) werden bij elke registratie afgelezen.

5.4.5. IJking van de diaferometer met uitademingsgas; resultaten

De waarde van \dot{V}_p horende bij een stand van de drijver van de rotameter op $400 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, werd bepaald op $450.1 \pm 1.61 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ ($n = 20$) (ATPS). Voor een stand van de drijver van $600 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, werd $665.2 \pm 2.51 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ ($n = 10$) (ATPS) gevonden. De waarde van \dot{V}_v horende bij een stand van de debietkiezer van $8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ werd bepaald op $8416.9 \pm 124.3 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ ($n = 10$) (ATPS). In tabel 5 zijn de bij de ijkking behorende barometerdruk (P_b) kamertemperatuur (T), de hierbij behorende verzadigingsdruk van waterdamp ($P_{\text{H}_2\text{O}}^Z$), de volumefracties van de gassen ($F_{\text{O}_2}^E$, $F_{\text{CO}_2}^I$, $F_{\text{O}_2}^E$, $F_{\text{CO}_2}^E$) en de uitslagen van de meetkanalen (ΔG_{O_2} en ΔG_{CO_2}) vermeld. Voor de volumefracties van de gassen werden de waarden uit kamerlucht en pvc zak tijdens één ijkzitting gevonden, gemiddeld. De berekende waarden van \dot{V}_I , \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} zijn eveneens vermeld in tabel 5. De waarde van $(1 - F_{\text{CO}_2}^D - F_{\text{H}_2\text{O}}^D)$ werd berekend¹²⁹ op 0.9830. De waarde van $(1 - F_{\text{H}_2\text{O}}^D) / (1 - F_{\text{H}_2\text{O}}^Z)$ op 1.024.

De waarde van S'_{O_2} werd met behulp van vergelijking (18) berekend op $12428 \pm 618 \text{ mm}$ ($n = 30$). De waarde van S'^{CO_2} werd gesteld op 0.1 van de waarde van S'_{O_2} . Voor $S'^{\text{CO}_2} = 1242.8 \text{ mm}$ werd voor S'^{CO_2} een waarde berekend van $-12935 \pm 296 \text{ mm}$ ($n = 20$). Na substitutie van de voor S'_{O_2} , S'^{CO_2} en S'^{CO_2} gevonden waarden in vergelijkingen (18) en (19) kunnen \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} worden berekend met

$$\dot{V}_{O_2} = -0.666 \cdot \Delta G_{O_2} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (23)$$

$$\dot{V}_{CO_2} = -0.666 \cdot \Delta G_{CO_2} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} - 0.096 \dot{V}_{O_2} \quad (24)$$

(\dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} onder kondities ATPD).

Voor het berekenen onder kondities STPD dienen \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} met $\frac{273}{T} \cdot \frac{P_b}{760}$ te worden vermenigvuldigd.

Tabel 5. Voor ijking van de diaferometer gemeten en met behulp hiervan berekende *waarden

Nr	P_b	T	$F_{H_2O}^I$	$F_{O_2}^I$	$F_{CO_2}^I$	$F_{CO_2}^E$	$F_{CO_2}^E$	$-\Delta G_{O_2}$	$-\Delta G_{CO_2}$	\dot{V}_I^*	$\dot{V}_{O_2}^*$	$\dot{V}_{CO_2}^*$
1	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	15.0	19.5	430.3	9.95	11.58
2	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	16.0	19.5	430.3	9.95	11.58
3	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	16.0	19.0	430.3	9.95	11.58
4	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	15.0	19.0	430.3	9.95	11.58
5	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	16.0	19.0	430.3	9.95	11.58
6	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	17.5	20.0	430.3	9.95	11.58
7	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	17.5	20.0	430.3	9.95	11.58
8	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	18.0	20.0	430.3	9.95	11.58
9	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	17.5	20.0	430.3	9.95	11.58
10	766	302.5	30.92	0.2074	0.0012	0.1836	0.0280	16.0	19.5	430.3	9.95	11.58
11	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	23.0	28.5	639.1	14.89	16.27
12	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	23.5	28.5	639.1	14.89	16.27
13	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	23.0	28.5	639.1	14.89	16.27
14	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	23.5	28.5	639.1	14.89	16.27
15	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	23.0	28.0	639.1	14.89	16.27
16	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	23.5	28.0	639.1	14.89	16.27
17	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	23.5	28.0	639.1	14.89	16.27
18	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	24.0	28.0	639.1	14.89	16.27
19	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	24.5	28.5	639.1	14.89	16.27
20	763	301.0	28.35	0.2078	0.0011	0.1841	0.0265	25.0	28.0	639.1	14.89	16.27
21	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	29.5	9.0	658.0	19.97	3.51
22	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	29.5	8.5	658.0	19.97	3.51
23	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	30.0	8.5	658.0	19.97	3.51
24	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	30.0	8.0	658.0	19.97	3.51
25	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	30.5	9.0	658.0	19.97	3.51
26	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	20.0	6.0	445.1	13.50	2.37
27	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	20.0	5.0	445.1	13.50	2.37
28	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	20.0	5.5	445.1	13.50	2.37
29	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	20.0	5.5	445.1	13.50	2.37
30	769	300.5	27.53	0.2071	0.0014	0.1813	0.0069	20.5	6.0	445.1	13.50	2.37

5.4.6. Berekening van de warmteproductie uit O_2 opname en CO_2 afgifte

De warmteproductie kan worden berekend uit \dot{V}_{O_2} (3.1.6.), uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} (3.1.7.), en uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en de uitscheiding van N verbindingen (3.1.8.). Om na te gaan welke verschillen in warmteproductie bij gebruik van deze verschillende methoden worden gevonden, kan worden uitgegaan van een door Zijlstra et al.¹⁴⁸

gegeven rekenvoorbeeld. Zijlstra et al.¹⁴⁸ berekenden de warmteproductie van een volwassene met $\dot{V}_{O_2} = 18.39 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, $\dot{V}_{CO_2} = 13.47 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ en $\dot{m}_N = 0.6 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$. Bij berekening van de warmteproductie uit \dot{V}_{O_2} vonden zij $\dot{M} = 88.82 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1}$, uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} $\dot{M} = 87.50 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1}$ en uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en N uitscheiding $\dot{M} = 86.39 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1}$ (tabel 6). In het genoemde rekenvoorbeeld is het verschil tussen de warmteproductie berekend uit \dot{V}_{O_2} en die berekend uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en N uitscheiding gering (2.8%). Een minstens zo groot verschil (3.6%) ontstaat door het verschil in calorische waarde van koolhydraten, van vetten en van eiwitten (tabel 7).

Tabel 6. Warmteproductie (\dot{M}) van een volwassene berekend uit O_2 opname (\dot{V}_{O_2}), O_2 opname en CO_2 afgifte (\dot{V}_{CO_2}), en uit O_2 opname, CO_2 afgifte en N-uitscheiding (\dot{m}_N)

Berekend volgens	\dot{M} \dot{V}_{O_2}	\dot{M} \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2}	\dot{M} \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en \dot{m}_N
Zijlstra et al. ¹⁴⁸	88.82	87.56	86.39
Weir ¹³⁶	—	—	86.05
Consolazio et al. ³¹	—	—	83.35
Eigen onderzoek	88.82	86.04	84.98

\dot{M} in $\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$. Voor de berekening van de warmteproductie van een volwassene is genomen $\dot{V}_{O_2} = 18.39 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, $\dot{V}_{CO_2} = 13.47 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ en $\dot{m}_N = 0.6 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$.

Tabel 7. Calorische waarde van O_2 bij de oxydatie van koolhydraten ($M_k \cdot V_{O_2}(k)^{-1}$), vetten ($M_v \cdot V_{O_2}(v)^{-1}$) en eiwitten ($M_e \cdot V_{O_2}(e)^{-1}$) en respiratoir quotiënt bij de oxydatie van koolhydraten (R_k), vetten (R_v) en eiwitten (R_e)

	$M_k \cdot V_{O_2}(k)^{-1}$ ($\text{kcal} \cdot \text{l}^{-1}$)	R_k	$M_v \cdot V_{O_2}(v)^{-1}$ ($\text{kcal} \cdot \text{l}^{-1}$)	R_v	$M_e \cdot V_{O_2}(e)^{-1}$ ($\text{kcal} \cdot \text{l}^{-1}$)	R_e
Zijlstra et al. ¹⁴⁸	5.05	1.00	4.74	0.71	4.46	0.80
Weir ¹³⁶	5.047	1.00	4.735	0.718	4.463	0.802
Consolazio et al. ³¹	4.946	1.00	4.606	0.707	4.244	0.810
Berekend voor <i>humanized milk</i>	5.003	1.00	4.647	0.706	4.467	0.801

Zijlstra et al.¹⁴⁸ maakten gebruik van de gemiddelde calorische waarde van koolhydraten, vetten en eiwitten bij oxydatie in het lichaam.

Weir¹³⁶ maakte voor de koolhydraten gebruik van de gegevens van Zuntz¹⁴⁵, voor de vetten van Cathcart en Cuthbertson³⁰ en voor de eiwitten van Loewy⁸⁵, gemodificeerd door Lusk⁸⁶.

Consolazio et al.³¹ maakten voor koolhydraten, eiwitten en vetten gebruik van de gegevens van Magnus Levy⁸⁸. Tussen de hier vermelde en in vergelijking (8) gebruikte waarden enerzijds en de waarden van Magnus-Levy⁸⁸ anderzijds bestaat echter een duidelijke discrepantie.

Hoewel de verschillen in de warmteproductie door de verschillende auteurs berekend uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en N uitscheiding niet groot zijn, rijst hieruit toch de vraag of deze berekeningen uitgaande van de oxydatie van voedingsstoffen van de volwassene, voor de pasgeborene wel van toepassing zijn. De pasgeborene, die als flesvoeding een *humanized milk* drinkt, krijgt in tegenstelling tot de volwassene als koolhydraat hoofdzakelijk mono- en disacchariden, als vet hoofdzakelijk maisolie en als eiwit alleen melkeiwit toegediend. De calorische waarde van mono- en disacchariden is iets lager dan van zetmeel, de calorische waarde van de vetten die de pasgeborene krijgt is iets hoger dan de calorische waarde die in het algemeen aan vetten wordt toegekend. Daarnaast is het aandeel van de oxydatie van eiwit aan de warmteproductie bij de pasgeborene (ongeveer 5%, afhankelijk van zijn groeiselnelheid) geringer dan dit bij de volwassene (10–15%) het geval is, hoewel de pasgeborene naar verhouding ongeveer 2–3 maal zoveel eiwit krijgt.

Het aandeel van de oxydatie van eiwit aan de warmteproductie van de pasgeborene kan aan de hand van een voorbeeld worden nagegaan. De ureum clearance van premature en à terme pasgeborenen is gedurende de eerste twee levensweken ongeveer $0.011 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ per 1.73 m^2 lichaamsoppervlak. Voor een pasgeborene met een lichaamsoppervlak van 0.15 m^2 (2.0 kg lichaamsgewicht, 45 cm lengte) en een ureumgehalte in het bloed van $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ betekent dit een N uitscheiding van $1.11 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$. De hieruit berekende warmteproductie door oxydatie van eiwitten bedraagt $3 \text{ cal} \cdot \text{min}^{-1}$. Bij een totale gemiddelde warmteproductie van $60 \text{ cal} \cdot \text{min}^{-1}$ is het aandeel van de oxydatie van eiwit aan de warmteproductie 5%. Het aandeel van de oxydatie van eiwitten aan de warmteproductie kan ook worden benaderd door de met de groei aan het lichaam toegevoegde hoeveelheid eiwit af te trekken van de met de voeding toegediende eiwitten. Praktisch gezien is dit veel moeilijker.

Tabel 8. Calorische waarde ($M \cdot m^{-1}$), calorische waarde van O_2 ($M \cdot \dot{V}_{O_2}^{-1}$), O_2 opname ($\dot{V}_{O_2} \cdot m^{-1}$), CO_2 afgifte ($\dot{V}_{CO_2} \cdot m^{-1}$) en respiratoir quotiënt (R) bij de oxydatie van verschillende voedingsstoffen

Voedingsstof	$M \cdot m^{-1}$ (kcal \cdot g $^{-1}$)	$M \cdot \dot{V}_{O_2}^{-1}$ (kcal \cdot l $^{-1}$)	$\dot{V}_{O_2} \cdot m^{-1}$ (l \cdot g $^{-1}$)	$\dot{V}_{CO_2} \cdot m^{-1}$ (l \cdot g $^{-1}$)	R
Koolhydraten*	3.736	5.003	0.747	0.747	1.000
Vetten*	9.406	4.647	2.024	1.429	0.706
Eiwitten**	4.316	4.467	0.966	0.774	0.801

* = glucose werd genomen als representatief voor de in de voeding voorkomende koolhydraten en oliezuur als representatief voor de vetzuren

** = naar de gegevens van Loewy⁸⁵.

Aangezien de pasgeborenen in dit onderzoek een *humanized milk* van bekende samenstelling kregen leek het ons zinvol de vergelijkingen voor de berekening van de warmteproductie voor deze pasgeborenen uit \dot{V}_{O_2} , uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en N uitscheiding opnieuw op te stellen. In tabel 8 zijn de voor het opstellen van deze vergelijking benodigde gegevens vermeld. Voor de berekening van

de warmteproduktie uit \dot{V}_{O_2} dient men een calorische waarde aan O_2 toe te kennen. Hierbij moet rekening worden gehouden met de hoeveelheid koolhydraten, eiwitten en vetten in *humanized milk*. Aangezien de oxydatie van eiwitten weinig bijdraagt aan de warmteproduktie is deze buiten beschouwing gelaten. Uit de hoeveelheid koolhydraten en vetten is dan de calorische waarde van O_2 berekend.

$$\dot{M} = 4.83 \dot{V}_{O_2} \quad (25)$$

Door het bepalen van \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} is men in staat het aandeel van de oxydatie van koolhydraten en van vetten in de warmteproduktie te bepalen. Hierbij kan het aandeel van de oxydatie van eiwitten in de warmteproduktie worden betrokken in het aandeel van koolhydraten en vetten, indien men voor de berekening gebruikt maakt van het respiratoir quotient, immers $R_k > R_e > R_v$. Bij de oxydatie van een mengsel van koolhydraten en vetten geldt

$$\dot{V}_{O_2}(k) = \frac{R - R_v}{R_k - R_v} \cdot \dot{V}_{O_2} \quad (26)$$

en

$$\dot{V}_{O_2}(v) = \frac{R_k - R}{R_k - R_v} \cdot \dot{V}_{O_2} \quad (27)$$

De warmteproduktie kan worden berekend uit

$$\dot{M} = 5.003 \dot{V}_{O_2}(k) + 4.647 \dot{V}_{O_2}(v) \quad (28)$$

Uitgaande van de gegevens vermeld in tabel 8 en $R = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{O_2}}$ volgt uit (28)

$$\dot{M} = 3.797 \dot{V}_{O_2} + 1.204 \dot{V}_{CO_2} \quad (29)$$

Door het bepalen van \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} en de N uitscheiding is men in staat het aandeel van de oxydatie van koolhydraten, vetten en eiwitten afzonderlijk in rekening te brengen. De hoeveelheid O_2 die bij de oxydatie van een mengsel van koolhydraten, vetten en eiwitten wordt opgenomen volgt uit

$$\dot{V}_{O_2} = 0.747 \dot{m}_k + 2.024 \dot{m}_v + 0.966 \dot{m}_e \quad (30)$$

Voor de geproduceerde CO_2 geldt

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = 0.747 \dot{m}_k + 1.429 \dot{m}_v + 0.774 \dot{m}_e \quad (31)$$

De totale hoeveelheid warmte die bij de oxydatie van een aan de pasgeborene aangeboden mengsel van koolhydraten, vetten en eiwitten vrijkomt is

$$\dot{M} = 3.736 \dot{m}_k + 9.406 \dot{m}_v + 4.316 \dot{m}_e \quad (32)$$

Uit vergelijking (30), (31) en (32) kan worden berekend

$$\dot{M} = 3.797 \dot{V}_{\text{O}_2} + 1.204 \dot{V}_{\text{CO}_2} - 0.284 \dot{m}_e \quad (33)$$

Aangezien $\dot{m}_N = 0.16 \dot{m}_e$, en indien \dot{m}_N wordt uitgedrukt in g per tijdseenheid geldt

$$\dot{M} = 3.797 \dot{V}_{\text{O}_2} + 1.204 \dot{V}_{\text{CO}_2} - 1.775 \dot{m}_N \quad (34)$$

Aangezien bij pasgeborenen de oxydatie van eiwit weinig bijdraagt aan de warmteproductie, het verzamelen van urine moeilijker is dan bij de volwassene en het kind niet op kommando plast, werd besloten voor de berekening van de warmteproductie gebruik te maken van vergelijking (29). Berekening van de warmteproductie uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} is gezien het wisselend respiratoir quotiënt bij pasgeborenen en zuigelingen iets nauwkeuriger dan de berekening uit \dot{V}_{O_2} . Berekening uit \dot{V}_{O_2} alleen geeft bij $R = 0.706$ een fout van +4.1% en bij $R = 1.00$ een fout van -3.4%.

5.5. Bepaling van de warmteafgifte van de pasgeborene in de couveuse

5.5.1. Wegen waarlangs warmteafgifte in de couveuse plaatsvindt

In de bij dit onderzoek gebruikt couveuse geeft de pasgeborene warmte af door straling (\dot{H}_r), convection (\dot{H}_c) en met de verdamping van water uit huid en slijmvliezen (\dot{H}_e). De warmteafgifte door geleiding (\dot{H}_d) kan bij het gebruik van een nylon net als matras worden verwaarloosd. Bij konstante lichaamstemperatuur is de totale warmteafgifte gelijk te stellen aan de warmteproductie (\dot{M}). Volgens Hey en Maurice⁶² is een konstante rectale temperatuur hiervoor voldoende. De warmtebalans kan dan worden voorgesteld als

$$\dot{M} = \dot{H}_r + \dot{H}_c + \dot{H}_e \quad (35)$$

5.5.2. Bepaling van de warmteafgifte door straling en convectie

Voor het bepalen van de warmteafgifte door straling en convectie kan men \dot{H}_r en \dot{H}_c afzonderlijk meten. De directe bepaling van \dot{H}_r en \dot{H}_c is in 4.2.1., 4.2.2. en 4.3.1. besproken. Veelal bepaalt men \dot{H}_r en \dot{H}_c niet afzonderlijk, maar samen ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$). De warmteafgifte door straling en convectie ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$) wordt wel de *droge* warmteafgifte genoemd. Voor de directe bepaling van ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$) moet men gebruik maken van een calorimeter. ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$) is echter ook op indirecte wijze uit de warmtebalans (vergelijking 35) te berekenen. In dit onderzoek werd ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$) berekend uit vergelijking (35) na meting van \dot{M} en \dot{H}_e .

5.5.3. Bepaling van de verdamping door middel van weging

Beschrijving van de meting

Voor het bepalen van de gewichtsvermindering van de pasgeborene door verdamping (\dot{m}_{H_2O}) is gebruik gemaakt van een speciaal hiervoor geconstrueerde balans (fig. 7). Deze balans bestaat uit een stevig onderstel O waarvan twee draag-

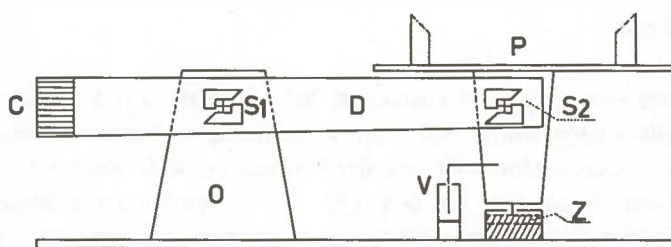


Fig. 7 Schematische weergave van de balans.

C contragewicht; D draagarm; O onderstel; P weegplateau; S_1 , S_2 verende scharnierpunten; V verplaatsingopnemer; Z zuiger in oliebad.

armen D met behulp van twee verende scharnierpunten S_1 zijn verbonden. Aan het ene uiteinde van de draagarmen D is, eveneens met verende scharnierpunten S_2 een weegplateau P verbonden. Aan het andere uiteinde van de draagarmen bevindt zich een contragewicht C.

Het weegplateau P kan in horizontale stand op en neer bewegen, de maximale uitslag bedraagt enkele centimeters. De uitslag wordt gedempt door een met het weegplateau verbonden zuiger Z, die zich in een oliebad bevindt. Het nylon net in de couveuse is via gasdichte, vrijwel wrijvingsloze verbindingen door de couveuse-

wand bevestigd aan het weegplateau. De belasting van het weegplateau is, bij weging van pasgeborenen van verschillend geboortegewicht, altijd gelijk omdat de balans door het toevoegen van gewichten aan het weegplateau in evenwicht wordt gebracht. Het contragewicht C wordt niet gewijzigd. De uitslag van het weegplateau wordt met behulp van een verplaatsingsopnemer V omgezet in een elektrisch signaal dat via een 0.5 Hz filter continu met behulp van een potentiometerschrijver wordt geregistreerd (fig. 3).

Bij de continue wegingen van een pasgeborene werd de pen van de potentiometerschrijver aan het begin van de weging, door het toevoegen van gewichtjes aan het weegplateau, op een bepaalde stand gezet. Voor de registratie van de gewichtsvermindering was het uiteraard noodzakelijk dat het kind geen contact had met de binnenzijde van de couveusewand. Evenmin mochten faeces of urine buiten het zorgvuldig rond genitaal en anus aangebrachte plastic verzamelzakje geraken. Bij braken en bij zichtbare zweetsecretie werd de weging gestaakt. Voeding en intraveneuze infusen werden meegewogen en beïnvloedden de gewichtsvermindering dus niet. Huilen en het maken van heftige bewegingen door het kind hadden een storende invloed op de registratie van de gewichtsvermindering. De registratie werd dan ook begonnen als het kind niet huilde en niet heftig bewoog. De gewichtsvermindering werd meestal gedurende 20–60 min continu geregistreerd (fig. 9).

IJking van de balans

Allereerst werd nagegaan of de uitslag van het weegplateau P zoals geregistreerd door de potentiometerschrijver, evenredig was met de gewichtsverandering. Hiertoe werd de pen van de potentiometerschrijver op een bepaalde stand gezet door gewichtjes aan het weegplateau toe te voegen. Hierna werden verschillende geijkte gewichtjes van het weegplateau afgenomen of eraan toegevoegd. Voor gewichtsveranderingen van + 1.5 tot – 1.5 g werd een lineair verband gevonden tussen de uitslag van de potentiometerschrijver en de uitslag van het weegplateau (fig. 8). Deze ijking werd in de praktijk niet gebruikt. Het bleek eenvoudiger te zijn om tijdens elke registratie van de gewichtsvermindering een geijkt gewichtje van 1 g van het weegplateau af te nemen en er enige tijd later weer aan toe te voegen (fig. 9).

5.5.4. Berekening van de verdamping uit gewichtsvermindering, O₂ opname en CO₂ afgifte

Onder de in 5.5.3. beschreven kondities is

$$\dot{m}_b = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} + \dot{m}_{\text{CO}_2} - \dot{m}_{\text{O}_2} \quad (36)$$

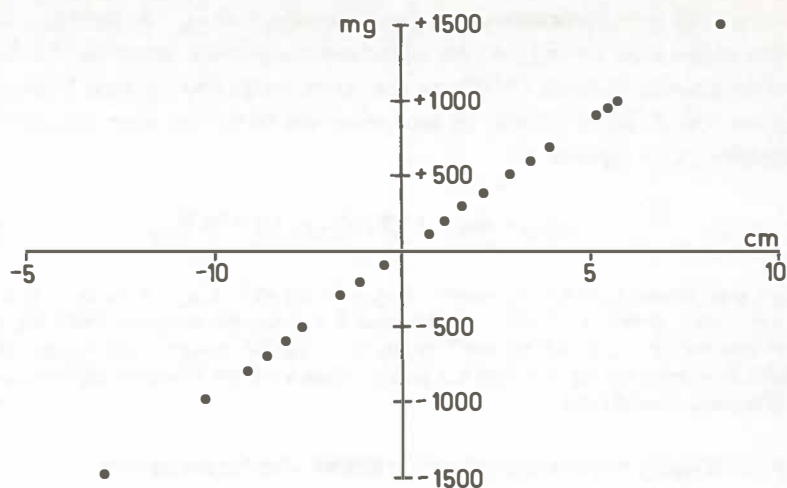


Fig. 8 Uitslag (cm) van de potentiometerschrijver van de balans uitgezet op de x as tegen de verandering van de belasting van het weegplateau (mg) op de y as.

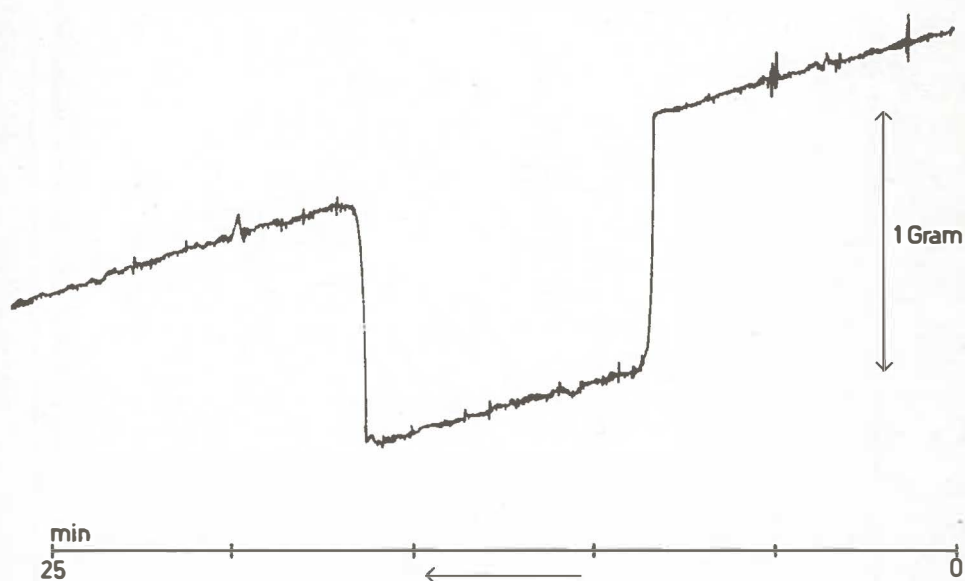


Fig. 9 Registratie gedurende 25 min van de gewichtsvermindering van een pasgeborene van 2.2 kg. Tijdens de registratie is een gewicht van 1 gram van het weegplateau van de balans afgenomen en later weer toegevoegd.

waarin \dot{m}_b = de gewichtsvermindering per tijdseenheid, \dot{m}_{CO_2} de per tijdseenheid afgegeven massa CO_2 en \dot{m}_{O_2} de per tijdseenheid afgegeven massa O_2 . Uitgaande van een volume van 22.40 ml (STPD) en een massa van 31.999 mg voor 1 mmol O_2 , een volume van 22.26 ml (STPD) en een massa van 44.010 mg voor 1 mmol CO_2 , is uit vergelijking (36) afgeleid dat

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{m}_b - 1.977 \dot{V}_{\text{CO}_2} + 1.429 \dot{V}_{\text{O}_2} \quad (37)$$

Voor een pasgeborene vinden we bijvoorbeeld $\dot{m}_b = 35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\dot{V}_{\text{O}_2} = 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en $\dot{V}_{\text{CO}_2} = 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($R = 1.00$). In dit geval is het verschil in massa tussen afgegeven CO_2 en opgenomen O_2 $4.384 \text{ mg} \cdot \text{min}^{-1}$ en $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 30.616 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, een verschil van 14.3%. Het verschil is bij $R = 1.00$ het grootst. Gaan we in dit voorbeeld uit van $R = 0.86$, dan bedraagt het verschil 6.4%

De warmteafgifte door verdamping (\dot{H}_e) kan worden berekend met

$$\dot{H}_e = 0.581 \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (38)$$

Hoofdstuk 6

RESULTATEN

6.1 Gegevens van de bij het onderzoek betrokken pasgeborenen

Het onderzoek werd uitgevoerd bij 30 kinderen gedurende de eerste twee levensweken. Alle waren opgenomen op de zuigelingenafdeling van de Kinderkliniek. De zwangerschapsduur varieerde van 28–42 weken, het geboortegewicht bedroeg 0.88–2.88 kg. Er waren 17 meisjes en 13 jongens.

Alle patiënten werden verpleegd in couveuses van het in 5.2 beschreven type, in een vertrek waarvan de temperatuur op 32.0°C konstant werd gehouden en de relatieve vochtigheid op 50% ($P_{\text{H}_2\text{O}} = 17.8 \text{ mm Hg}$). Bij pasgeborenen met een geboortegewicht lager dan 2.5 kg werd gedurende de eerste levensdagen continu intraveneus een glucoseoplossing toegediend. De concentratie van de glucoseoplossing (50, 75 of $100 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$) werd gekozen op grond van het voorkomen van glucose in de urine van het kind. Er werd naar gestreefd zoveel mogelijk glucose toe te dienen zonder dat er glucosurie optrad. Bij pasgeborenen met een geboortegewicht hoger dan 2.5 kg werd alleen op grond van klinische indicaties (spugen; toedienen van antibiotica) een glucoseoplossing intraveneus toegediend. Als voeding werd een *humanized milk* (Almiron A) gegeven. Bij pasgeborenen met een geboortegewicht lager dan 2.5 kg werd de voeding continu in de maag gedruppeld via een dunne, soepele catheter. Bij pasgeborenen zwaarder dan 2.5 kg werd, indien de toestand het toeliet, de voeding per fles gegeven. Er werd naar gestreefd om in 5–7 dagen na de geboorte de orale en parenterale toediening van voeding op te voeren tot $150 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, waarin $110 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Bij pasgeborenen met een geboortegewicht lager dan 2.0 kg werden deze hoeveelheden daarna geleidelijk verhoogd tot $200 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ en $140 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Het bloedsuikergehalte werd bij alle pasgeborenen met behulp van reagens strips (Dextrostix, Firma Ames Frankrijk) gedurende de eerste drie levensdagen om de 3–4 h gecontroleerd. Bepaling van het bloedsuikergehalte werd met behulp van de hexokinose methode uitgevoerd als de Dextrostix bij herhaling een waarde $< 450 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ aangaf. Een bloedsuikergehalte lager dan $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ werd niet waargenomen. De meeste patiënten kregen naast de voeding een vitamine- en mineralenmengsel¹⁴⁸ toegediend.

De opname indicaties van de bij het onderzoek betrokken patiënten waren laag geboortegewicht (< 2.5 kg) al dan niet gepaard gaande met prematuriteit in 24 gevallen, asfyxia neonatorum in 2 gevallen, pneumothorax in 1 geval, ademhalingsmoeilijkheden in 1 geval, bloedingen in het gelaat in 1 geval en reeds voor de geboorte bekende hemolytische anemie in 1 geval. Er traden in de eerste levensweken bij deze pasgeborenen nog verschillende problemen op, deze zijn vermeld in tabel 9. In vier gevallen (13, 20, 29, 35) werden antibiotica toegediend.

Tabel 9. Gegevens van de bij het onderzoek betrokken pasgeborenen

Nr.	Geslacht	Geboortegewicht (kg)	Zwangerschapsduur (weken)	Diagnose
34	♀	0.880	29	prematuur, dysmatuur
30	♀	0.960	29	prematuur
31	♂	0.975	30	prematuur, dysmatuur
37	♀	1.135	28	prematuur, icterus e.c.i.
35	♀	1.225	29	prematuur, umbilicitis
6	♂	1.350	29	prematuur, icterus e.c.i.
20	♀	1.350	34	prematuur, dysmatuur, sepsis, meningitis, icterus
36	♀	1.350	29	prematuur
27	♀	1.360	33	prematuur, dysmatuur
33	♀	1.470	31	prematuur
32	♂	1.510	31	prematuur
19	♀	1.530	36	prematuur, dysmatuur, icterus e.c.i.
14	♀	1.560	35	prematuur, icterus
29	♂	1.770	33	prematuur, pneumothorax
17	♂	1.780	36	prematuur, dysmatuur, icterus e.c.i.
7	♀	2.000	40	dysmatuur
15	♀	2.050	37	prematuur, icterus e.c.i.
26	♀	2.100	39	dysmatuur
25	♀	2.090	38	dysmatuur
22	♀	2.120	41	dysmatuur
2	♂	2.130	38	dysmatuur
16	♀	2.370	35	prematuur
23	♂	2.450	33	prematuur
24	♀	2.450	37	prematuur, dysmatuur
12	♂	2.520	38	dysmatuur, lichte ademhalingsproblemen
3	♂	2.650	35	prematuur, icterus e.c.i.
28	♂	2.740	42	dysmatuur, asfyxia neonatorum
13	♂	2.800	35	prematuur, icterus a.g.v. hemolyse door Rh-antilichaam
21	♂	2.860	40	pneumothorax
18	♂	2.880	36	prematuur, asfyxia neonatorum

6.2 Meetgegevens en hieruit berekende waarden

De meetgegevens zijn lichaamsmassa (m_b), leeftijd van het kind tijdens het onderzoek (L), gemiddelde couveusewandtemperatuur (T_w), gemiddelde couveuseluchttemperatuur (T_a), waterdampspanning in de couveuselucht (P_{H_2O}), gemiddelde rectale temperatuur (T_r), gemiddelde abdominale huidtemperatuur (T_s), O_2 opname (\dot{V}_{O_2}), CO_2 afgifte (\dot{V}_{CO_2}) en de gewichtsvermindering (\dot{m}_b).

De uit de meetgegevens berekende waarden zijn lichaamsoppervlak (A), respiratoir quotiënt (R), warmteproductie (\dot{M}), verdamping (\dot{m}_{H_2O}), warmteafgifte door verdamping (\dot{H}_e) en warmteafgifte door straling en convectorie ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$). De meetgegevens en de hieruit berekende waarden zijn weergegeven in tabel 10.

Voor de eenheden waarin de gegevens zijn uitgedrukt, werd voor de lichaamsmassa kg, het lichaamsoppervlak m^2 , de temperatuur $^{\circ}C$ en de waterdampspanning mm Hg gebruikt. O_2 opname en CO_2 afgifte zijn uitgedrukt in ml per kg per minuut, omdat dit in de literatuur gebruikelijk is. Het zou konsekwent geweest zijn om de uit O_2 opname en CO_2 afgifte berekende warmteproductie eveneens per kg per minuut uit te drukken. In overeenstemming met pediatrieche literatuur is de warmteproductie echter uitgedrukt per kg per dag, om vergelijking met de gegevens van andere auteurs gemakkelijker te maken. Om dezelfde redenen werd de warmteproductie uitgedrukt in calorieën, hoewel duidelijk de tendens bestaat als eenheid van warmte Joule te gebruiken ($1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$). Om hieraan tegemoet te komen, zijn in fig. 13 beide eenheden gebruikt. De gewichtsvermindering is uitgedrukt in g per kg per uur, omdat dit het meest de duur van de meting hiervan benadert. In navolging van de literatuur is de verdamping uitgedrukt in g per kg per dag. Dit is gemakkelijker bij de berekening van de vochttoediening aan pasgeborenen en zuigelingen. De warmteafgifte door verdamping is evenals de warmteproductie uitgedrukt in kcal per kg per dag. Dit is ook het geval met de warmteafgifte door straling en convectorie.

6.3 Bewerking van de gegevens

6.3.1 Inleiding

De warmtehuishouding van pasgeborenen en zuigelingen van verschillend geboortegewicht wordt meestal met behulp van gewichtsgroepen met elkaar vergeleken. Ook bij het instellen van de couveusetemperatuur werkt men met gewichtsgroepen. Op geleide van de lichaamstemperatuur en de leeftijd wordt de couveusetemperatuur vervolgens zonodig gecorrigeerd. De pasgeborenen en zuigelingen die bij het onderzoek betrokken waren zijn daarom aan de hand van het geboortegewicht ingedeeld

Tabel 10. Lichaamsmassa (m_b), leeftijd (L), lichaamsoppervlak (A), gemiddelde couveusewandtemperatuur (T_w), gemiddelde couveuseluchttemperatuur (T_a), waterdampspanning in de couveuse (P_{H_2O}), gemiddelde rectale temperatuur (T_r), gemiddelde abdominale huidtemperatuur (T_s), O_2 opname (\dot{V}_{O_2}), CO_2 afgifte (\dot{V}_{CO_2}), respiratoir quotiënt (R) warmteproductie (\dot{M}), gewichtsvermindering (\dot{m}_b), verdamping (\dot{m}_{H_2O}), warmteafgifte door verdamping (\dot{H}_e), warmteafgifte door straling en convectie ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$) van de bij het onderzoek betrokken pasgeborenen en zuigelingen.

Nr.	m_b (kg)	L (h)	A^* (m ²)	T_w (°C)	T_a (°C)	P_{H_2O} (mm Hg)	T_r (°C)	T_s (°C)	\dot{V}_{O_2} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	\dot{V}_{CO_2} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	R	\dot{M} (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	\dot{m}_b (g · kg ⁻¹ · h ⁻¹)	\dot{m}_{H_2O} (g · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	\dot{H}_e (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	$\dot{H}_r + \dot{H}_c$ (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)
34	0.865	24	0.087	35.1	35.1	11.5	36.1	35.9	8.01	5.87	0.73	53.973 ^a	1.971	47.075	27.351	26.622
	0.830	67	0.084	35.3	34.9	11.7	36.1	35.8	7.14	5.74	0.80	48.991	2.650	47.911	27.836	21.155
	0.820	116	0.083	34.2	34.6	10.3	36.4	35.8	7.23	6.16	0.85	50.211	1.626	36.365	21.128	29.083
	0.825	190	0.083	34.7	33.9	11.1	36.7	36.5	8.56	7.02	0.82	58.974	1.732	39.197	22.773	36.201
	0.820	237	0.083	34.3	34.2	11.3	37.1	36.6	9.79	8.46	0.86	68.196	1.931	42.405	24.637	43.559
	0.850	317	0.085	33.6	33.8	11.8	36.9	36.3	8.63	7.43	0.86	60.068	1.642	36.014	20.924	39.144
	0.920	402	0.090	34.1	33.4	10.8	37.1	36.7	9.41	7.84	0.83	65.044	1.706	37.988	22.071	42.973
30	0.930	34	0.091	35.2	35.0	17.3	36.0	35.7	7.05	5.43	0.77	47.962	2.398	56.601	32.885	15.077
	0.940	54	0.092	35.2	34.4	16.0	36.0	35.5	6.70	5.72	0.86	46.551	2.248	51.455	29.895	16.656
31	1.050	276	0.099	34.6	34.5	17.2	37.1	36.9	6.95	5.99	0.85	48.386	1.361	29.913	17.379	31.007
	1.040	296	0.099	33.8	34.3	17.4	37.0	36.5	7.56	6.54 ^a	0.86	52.574	1.534	33.754	19.611	33.063
	1.050	323	0.099	34.9	34.1	16.5	36.9	36.4	6.82	6.14	0.90	47.935	1.374	29.530	17.157	30.778
37	1.025	50	0.098	34.9	34.9	13.0	35.7	35.3	7.72	6.67	0.68	53.775	2.710	61.937	35.985	17.790
	1.050	122	0.099	34.8	34.8	12.5	36.5	35.9	6.91	5.95	0.86	48.098	2.259	51.496	29.919	18.179
	1.065	151	0.101	34.9	34.5	12.3	36.6	36.2	8.73	7.59	0.87	60.892	3.499	80.488	46.764	14.146
	0.975	221	0.094	34.8	34.7	12.0	36.9	36.3	10.08	9.07	0.90	70.939	3.256	78.144	45.402	25.537
	1.135	313	0.105	34.9	35.0	11.8	36.7	36.4	9.17	8.25	0.90	64.441	1.836	44.064	25.601	38.840
35	1.190	296	0.109	34.7	34.7	12.4	36.7	36.4	7.43	5.90	0.79	50.854	2.101	48.917	28.421	22.433
	1.210	337	0.110	34.8	34.7	11.6	37.0	36.6	—	—	—	—	1.823	43.752**	25.420**	—
6	1.205	162	0.110	34.9	34.0	14.4	35.8	—	5.31	4.76	0.90	37.286	1.872	42.304	24.579	12.707
	1.270	306	0.114	33.5	33.3	13.0	36.5	—	6.87	6.19	0.90	48.295	1.699	37.291	21.666	26.629
20	1.335	114	0.118	33.9	34.6	14.0	37.5	37.5	7.89	7.10	0.90	55.450	1.070	21.703	12.609	42.841
36	1.325	22	0.118	34.9	34.8	12.9	35.5	35.1	5.52	4.97	0.89	38.798	2.588	59.322	34.466	3.332
	1.200	95	0.110	34.7	34.8	12.5	36.2	35.6	6.27	5.41	0.86	43.662	2.351	58.725	34.199	9.463
	1.195	140	0.109	34.7	34.5	12.3	36.4	35.8	7.84	6.82	0.87	54.691	2.449	55.493	32.241	22.450
	1.170	190	0.108	35.9	35.7	13.1	36.5	36.2	7.45	6.95	0.93	52.784	2.430	53.864	31.295	21.489
	1.235	284	0.112	34.9	34.9	11.7	36.6	36.2	8.35	7.51	0.90	58.676	1.975	43.202	25.100	33.579
27	1.350	17	0.119	34.8	34.9	15.9	36.7	36.3	5.80	4.81	0.83	40.052	0.958	21.234	12.337	27.715
	1.250	89	0.113	34.4	34.7	17.0	36.7	36.4	6.35	5.72	0.90	44.637	1.154	24.479	14.222	30.415
	1.260	140	0.113	34.0	33.9	16.2	36.7	36.4	7.67	6.45	0.84	53.120	1.266	27.805	16.155	36.965
	1.285	189	0.115	34.0	34.2	16.9	37.1	36.6	6.57	5.70	0.87	45.805	1.556	34.636	20.124	25.681
	1.360	238	0.120	33.3	33.4	17.0	36.6	36.1	7.72	6.95	0.90	54.260	1.202	24.948	14.495	39.765
	1.450	307	0.126	34.1	33.6	16.8	37.0	36.5	9.46	7.92	0.84	65.456	1.203	25.791	14.985	50.471
33	1.440	31	0.125	34.1	34.1	12.8	36.6	36.1	6.06	4.85	0.80	41.543	1.521	35.167	20.432	21.111
	1.380	126	0.121	34.3	34.0	11.2	36.3	35.8	6.53	5.27	0.81	44.841	1.326	30.258	17.580	27.361
	1.400	151	0.123	34.4	34.5	11.5	37.0	36.5	7.26	6.53	0.90	51.017	2.060	46.643	27.100	23.917

	1.450	225	0.120	33.6	33.8	11.0	36.8	36.3	7.81	7.03	0.90	54.891	1.999	44.034	25.584	29.307
	1.470	269	0.127	33.3	33.6	10.9	37.1	36.5	9.77	9.18	0.94	69.335	1.916	39.954	23.208	46.127
	1.505	341	0.129	33.5	33.5	12.4	36.8	36.3	7.11	6.40	0.90	49.971	1.582	34.350	19.957	30.014
32	1.490	24	0.128	34.5	34.8	16.7	36.6	36.1	5.36	4.45	0.83	37.022	1.282	29.129	16.924	21.098
	1.470	45	0.127	34.5	34.6	16.1	36.8	36.6	5.13	4.43	0.86	35.730	1.370	28.832	16.751	18.979
	1.485	139	0.128	34.0	34.2	16.1	36.9	36.8	7.30	6.38	0.87	50.975	1.303	28.131	16.344	34.631
	1.515	189	0.130	33.7	34.7	16.2	37.2	36.6	6.70	6.40	0.96	47.730	1.643	34.999	20.334	27.396
	1.530	240	0.131	33.1	33.7	15.7	37.1	36.5	7.32	6.96	0.95	52.090	1.562	32.737	19.020	33.070
	1.625	308	0.136	33.2	33.7	16.9	37.1	36.6	7.30	6.74	0.92	51.600	1.291	26.818	15.581	36.019
19	1.440	109	0.125	34.5	34.6	14.0	36.8	36.8	8.31	6.09	0.73	55.600	1.609	38.378	22.298	33.302
	1.515	158	0.130	34.3	34.2	12.5	36.8	36.6	7.62	6.09	0.80	52.222	1.338	30.455	17.694	34.528
	1.550	205	0.132	33.6	34.0	13.6	37.2	36.7	9.66	7.98	0.82	66.567	2.027	45.950	26.697	39.870
	1.625	280	0.130	33.5	33.7	12.9	37.2	36.7	7.73	7.31	0.95	54.939	1.686	35.560	20.660	34.279
	1.690	326	0.140	33.1	33.7	14.0	36.9	36.7	11.27	9.81	0.87	78.629	2.290	50.223	29.180	49.449
14	1.595	55	0.135	34.4	34.2	14.5	36.7	36.7	6.52	4.78	0.73	43.937	1.481	35.333	20.528	23.409
29	1.695	162	0.141	33.6	33.7	17.3	36.8	36.1	7.22	6.16	0.85	50.157	1.069	22.976	13.350	36.807
	1.715	181	0.142	33.4	33.8	15.8	36.8	36.2	7.72	6.28	0.81	53.099	0.951	20.832	12.103	40.996
	1.750	231	0.144	33.4	33.6	16.4	37.1	36.6	8.20	6.50	0.80	56.208	0.991	21.982	12.772	43.436
	1.810	301	0.144	32.4	32.7	16.3	37.0	36.3	8.72	6.91	0.79	59.658	0.964	21.408	12.438	47.220
	1.830	323	0.141	32.3	32.8	17.2	37.1	36.5	7.66	6.13	0.80	52.510	1.051	23.535	13.674	38.834
17	1.555	109	0.132	34.4	34.5	13.5	37.1	36.9	7.01	5.57	0.79	47.985	1.021	23.072	13.405	34.580
	1.555	205	0.132	33.3	33.6	12.5	36.9	36.6	7.34	6.42	0.87	51.264	0.897	18.355	10.664	40.600
	1.600	248	0.135	34.2	34.0	13.2	36.7	36.6	7.37	6.28	0.85	51.185	1.666	37.271	21.655	29.530
	1.630	320	0.137	33.9	33.7	13.3	36.9	36.6	8.49	6.76	0.80	58.141	1.438	32.737	19.020	39.121
7	2.000	128	0.135	33.4	33.8	15.6	36.8	-	7.91	7.12	0.90	55.594	1.796	39.111	22.723	32.871
15	1.995	134	0.138	33.2	34.0	12.8	36.8	36.5	6.06	4.63	0.76	41.161	0.976	22.713	13.196	27.965
26	2.025	36	0.160	33.7	34.3	14.2	36.8	36.6	5.64	5.21	0.92	39.871	0.828	16.646	9.671	30.204
	2.030	57	0.160	33.4	33.7	13.7	36.7	36.2	5.88	5.03	0.86	40.871	0.877	18.828	10.939	29.932
	2.040	80	0.161	33.3	33.6	14.4	36.9	36.8	5.93	5.62	0.95	42.167	1.162	24.091	13.997	28.179
	2.095	102	0.164	33.5	33.8	14.6	37.1	36.3	6.83	6.42	0.94	48.475	1.397	29.306	17.027	31.448
	2.120	179	0.165	33.2	33.5	14.7	37.1	36.5	8.07	7.53	0.93	57.179	1.482	29.626	17.213	39.948
25	2.100	25	0.164	34.3	33.7	16.1	38.6	36.7	6.85	5.61	0.82	47.180	0.733	15.717	9.132	38.048
	2.030	49	0.160	34.3	34.2	15.6	36.9	36.7	6.85	5.88	0.86	47.648	0.890	18.716	10.874	36.774
	2.130	116	0.166	33.7	33.8	15.4	36.8	36.4	6.55	5.50	0.84	45.349	0.809	17.236	10.014	35.335
	2.145	141	0.166	33.5	33.7	15.7	36.8	36.4	6.77	6.10	0.90	47.592	0.858	17.157	9.968	37.561
	2.195	164	0.169	33.2	34.1	15.3	37.0	36.5	8.77	7.64	0.87	61.197	1.178	24.568	14.274	46.923
	2.295	284	0.175	32.8	33.7	14.1	37.3	36.7	8.47	7.62	0.90	59.523	1.314	27.272	15.845	43.678
	2.345	333	0.177	32.3	32.5	13.6	37.3	36.5	8.39	6.81	0.81	57.681	0.944	20.533	11.930	45.751
	2.350	356	0.178	32.3	33.2	14.9	37.2	36.5	8.72	7.60	0.87	60.855	1.161	24.171	14.043	46.812
22	2.085	6	0.163	33.9	34.3	13.4	36.7	36.6	6.33	4.87	0.77	43.054	0.774	17.737	10.305	32.749
	2.060	57	0.162	33.4	33.4	13.1	36.9	36.8	7.57	5.41	0.72	50.770	0.927	22.424	13.028	37.742
	2.215	153	0.170	33.0	33.0	11.7	36.9	36.7	9.33	7.62	0.82	64.225	1.403	31.177	18.114	46.111
	2.225	222	0.171	32.6	32.6	11.8	37.0	36.5	9.08	7.39	0.81	62.459	1.434	32.062	18.628	43.831
	2.300	274	0.175	32.4	33.0	12.8	37.2	37.0	10.61	9.05	0.85	73.703	1.418	30.101	17.489	56.214

* Berekend met de vergelijking van Boyd¹⁸: $A = 4.688 m_b^{0.8168 - 0.0154 \log m_b} \times 10^{-4}$, waarin m_b in g.

** Berekend zonder correctie voor het verschil in massa van O_2 en CO_2 .

vervolg tabel 10

Nr.	m_b (kg)	L (h)	A^* (m ²)	T_w (°C)	T_a (°C)	P_{H_2O} (mm Hg)	T_r (°C)	T_s (°C)	\dot{V}_{O_2} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	\dot{V}_{CO_2} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	R	\dot{M} (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	\dot{m}_b (g · kg ⁻¹ · h ⁻¹)	\dot{m}_{H_2O} (g · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	\dot{H}_e (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)	$\dot{H}_r + \dot{H}_c$ (kcal · kg ⁻¹ · d ⁻¹)
2	2,125	14	0,165	34,6	34,6	14,9	36,9	—	5,97	4,56	0,76	40,548	0,807	18,671	10,848	29,700
16	2,375	123	0,179	32,3	32,4	12,4	37,2	36,8	7,46	6,24	0,84	44,937	0,820	17,266	10,032	34,905
	2,445	169	0,183	32,4	32,8	12,7	37,0	36,7	8,19	6,67	0,81	56,344	1,022	22,392	13,010	43,334
	2,560	220	0,189	32,3	32,6	11,4	37,1	36,6	8,08	6,83	0,85	56,020	1,032	21,951	12,754	43,266
	2,635	287	0,193	32,3	32,7	11,5	36,7	36,3	7,25	6,10	0,84	50,217	0,911	19,388	11,264	38,953
	2,715	334	0,197	31,4	31,7	11,2	37,1	36,7	8,78	7,90	0,90	61,703	1,068	21,209	12,322	49,381
23	2,280	143	0,174	33,5	34,0	18,8	37,0	36,9	6,48	5,58	0,86	45,105	0,940	20,009	11,625	33,480
24	2,235	142	0,171	33,3	34,1	19,3	36,9	36,7	7,14	6,58	0,92	50,447	1,028	20,632	11,987	38,460
	2,320	186	0,176	32,6	32,9	16,5	36,4	36,2	7,74	6,97	0,90	54,404	0,848	16,436	9,549	44,855
12	2,480	209	0,185	32,4	32,2	13,8	36,9	—	8,37	7,53	0,90	58,820	1,307	27,154	15,776	43,044
3	2,485	88	0,185	32,6	32,6	15,9	36,5	—	7,39	5,72	0,77	50,323	0,932	21,291	12,370	37,953
28	2,680	102	0,195	33,5	33,3	16,9	37,0	36,4	6,90	5,79	0,84	47,765	0,700	14,515	8,433	39,332
	2,660	148	0,194	32,2	32,6	15,1	36,8	36,1	6,81	5,91	0,87	47,481	1,063	22,700	13,189	34,283
	2,690	200	0,196	31,1	31,6	15,3	36,7	36,0	8,20	6,12	0,75	55,446	0,937	21,939	12,747	42,699
	2,730	244	0,198	30,4	30,6	14,2	36,4	35,6	7,62	6,03	0,79	52,118	0,876	19,537	11,351	40,767
	2,790	298	0,201	30,6	31,1	14,6	36,5	35,5	8,16	6,53	0,80	55,938	0,808	17,593	10,222	45,716
13	2,665	169	0,194	31,5	31,4	13,8	36,1	—	8,61	6,67	0,77	58,641	0,923	20,881	12,132	46,509
21	2,600	216	0,191	32,2	32,6	11,4	36,7	36,2	7,72	5,84	0,76	52,336	0,871	20,164	11,715	40,617
18	2,730	81	0,198	32,0	32,6	12,9	36,5	36,1	6,51	4,81	0,74	43,934	0,823	19,455	11,303	32,631
	2,805	130	0,202	32,4	32,1	12,6	37,0	36,6	6,24	5,41	0,87	43,498	0,899	19,015	11,048	32,450

* Berekend met de vergelijking van Boyd¹⁸: $A = 4,688 m_b^{(0,8168 - 0,0154 \log m_b)} \times 10^{-4}$, waarin m_b in g.

** Berekend zonder correctie voor het verschil in massa van O_2 en CO_2 .

in vier groepen. Hierbij is de in de pediatrie literatuur veel voorkomende indeling in gewichtsgroepen van 0.5 kg voor zover mogelijk nagevolgd.

Voor het weergeven van de resultaten werden de bij het onderzoek betrokken pasgeborenen en zuigelingen ingedeeld in de volgende groepen: 0.88–1.25 kg, 1.25–1.75 kg, 1.75–2.25 kg en 2.25–2.88 kg. Binnen de vier gewichtsgroepen werden de gegevens naar leeftijd gerangschikt. Uit praktische overwegingen werd hiervoor een indeling in de eerste en in de tweede levensweek gekozen. Er werd geen onderscheid gemaakt tussen pasgeborenen met een normaal gewicht voor de duur van de zwangerschap en pasgeborenen met een te laag gewicht voor de duur van de zwangerschap (dysmaturen, *small for dates*), omdat er geen overeenstemming bestaat over de gewichtsgrens die men hiervoor moet aannemen. Bovendien wordt de warmtehuishouding van de pasgeborene meer beïnvloed door het geboortegewicht van het kind, dan door de duur van de zwangerschap. De verschillende gegevens zijn dus telkens ingedeeld in acht groepen (vier gewichtsgroepen met ieder twee leeftijdsgroepen). Van elke groep gegevens werden het gemiddelde en de standaarddeviatie berekend. Van de gegevens waarvan dit zinvol leek, werd nagegaan of er statistische verschillen tussen de groepen aantoonbaar waren (t-toets van Student). Er werd een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% ($\alpha=0.05$) aangehouden.

6.3.2 Rectale temperatuur en abdominale huidtemperatuur

De rectale temperatuur en de abdominale huidtemperatuur van de pasgeborenen en zuigelingen tijdens de afzonderlijke metingen zijn in fig. 10 voor de gewichtsgroepen uitgezet tegen de leeftijd. Dit is een overzicht waarin duidelijk is te zien, dat de rectale temperatuur in alle gevallen hoger is dan de abdominale huidtemperatuur.

In tabel 11 is de gemiddelde rectale temperatuur in de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. In de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg is de gemiddelde rectale temperatuur in de eerste levensweek significant lager dan in de tweede. Bovendien is in de eerste levensweek de gemiddelde rectale temperatuur in de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg significant lager dan de gemiddelde rectale temperatuur in de gewichtsgroepen 1.75–2.88 kg. In de tweede levensweek zijn er geen significante verschillen meer tussen de gewichtsgroepen.

In tabel 12 is de gemiddelde abdominale huidtemperatuur in de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. In de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg is de gemiddelde abdominale huidtemperatuur in de eerste levensweek significant lager dan in de tweede. Bovendien is in de eerste levensweek de gemiddelde abdominale huidtemperatuur in de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg significant lager dan de gemiddelde abdominale huidtemperatuur in de gewichtsgroepen 1.75–2.88 kg. In de tweede levensweek zijn er geen significante verschillen tussen de gewichtsgroepen.

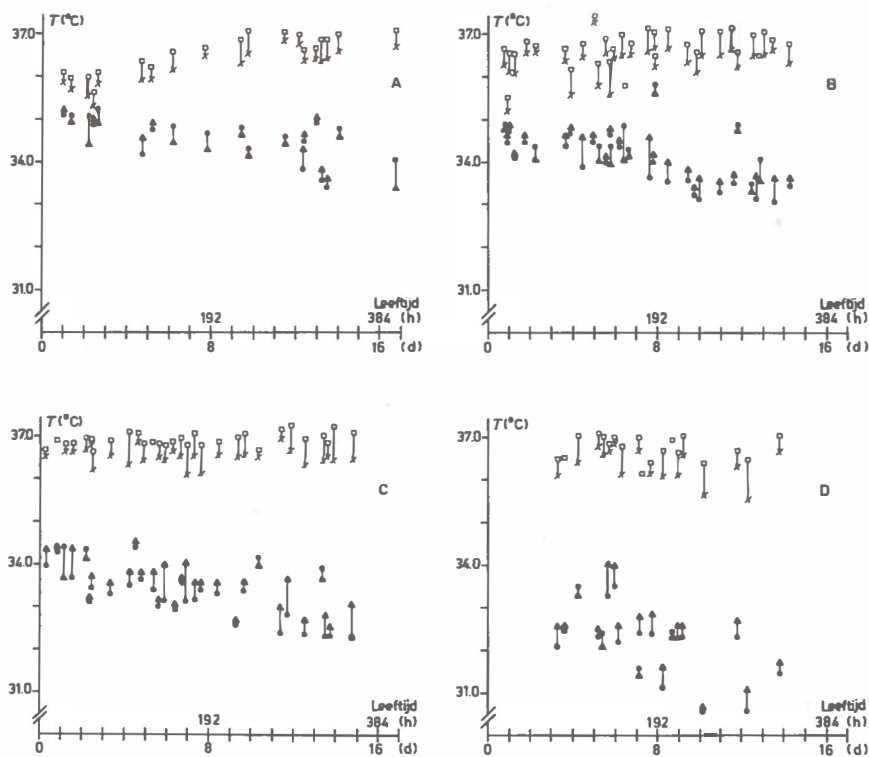


Fig. 10 Rectale temperatuur (\square) en abdominale huidtemperatuur (\times) van de pasgeborenen en zuigelingen, couveusewandtemperatuur (\bullet) en couveuseluchttemperatuur (\blacktriangle) tijdens de afzonderlijke metingen uitgezet tegen de leeftijd voor de gewichtsgroepen 0.88–1.25 kg (A), 1.25–1.75 kg (B), 1.75–2.55 kg (C) en 2.25–2.88 kg (D).

Tabel 11 Gemiddelde rectale temperatuur (T_r) van pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	T_r (0–7 d) ($^{\circ}\text{C}$)	T_r (8–16 d) ($^{\circ}\text{C}$)
0.88–1.25	36.2 ± 0.3 (n= 8)	36.9 ± 0.2 (n=11)
1.25–1.75	36.6 ± 0.5 (n=17)	36.9 ± 0.3 (n=15)
1.75–2.25	36.9 ± 0.1 (n=17)	37.0 ± 0.2 (n=13)
2.25–2.88	36.9 ± 0.3 (n= 8)	36.7 ± 0.3 (n=11)

Tabel 12 Gemiddelde abdominale huidtemperatuur (T_s) van pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	T_s (0–7 d) (°C)	T_s (8–16 d) (°C)
0.88–1.25	35.8 ± 0.3 (n= 8)	36.5 ± 0.2 (n=11)
1.25–1.75	36.3 ± 0.5 (n=16)	36.5 ± 0.2 (n=14)
1.75–2.25	36.5 ± 0.2 (n=15)	36.6 ± 0.2 (n=13)
2.25–2.88	36.5 ± 0.3 (n= 7)	36.2 ± 0.4 (n= 9)

6.3.3 Couveusewand- en luchttemperatuur, vochtigheid van de couveuselucht

De voor elke meting ingestelde couveusewand- en luchttemperatuur zijn in fig. 10 bijgetekend.

In tabel 13 en 14 zijn de gemiddelde couveusewand- en luchttemperatuur voor de gewichtsgroepen weergegeven. Aangezien deze temperaturen op geleide van geboortegewicht en leeftijd van het kind zijn ingesteld (2.2.3) nemen zij met het geboortegewicht en de leeftijd af.

Tabel 13 Gemiddelde couveusewandtemperatuur (T_w) in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	T_w (0–7 d) (°C)	T_w (8–16 d) (°C)
0.88–1.25	35.0 ± 0.4 (n= 8)	34.4 ± 0.5 (n=11)
1.25–1.75	34.4 ± 0.3 (n=17)	33.8 ± 0.8 (n=15)
1.75–2.25	33.7 ± 0.5 (n=17)	33.0 ± 0.7 (n=13)
2.25–2.88	32.7 ± 0.6 (n= 8)	31.8 ± 0.8 (n=11)

Tabel 14 Gemiddelde couveuseluchttemperatuur (T_a) in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	T_a (0–7 d) (°C)	T_a (8–16 d) (°C)
0.88–1.25	34.8 ± 0.3 (n= 8)	34.3 ± 0.5 (n=11)
1.25–1.75	34.5 ± 0.3 (n=17)	34.0 ± 0.7 (n=15)
1.75–2.25	33.9 ± 0.4 (n=17)	33.3 ± 0.5 (n=13)
2.25–2.88	33.0 ± 0.8 (n= 8)	32.3 ± 0.8 (n=11)

In tabel 15 is de gemiddelde waterdampspanning in de couveuse voor de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. Er zijn geen significante verschillen.

Tabel 15 Gemiddelde waterdampspanning (P_{H_2O}) in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	$P_{H_2O}^*(0-7 \text{ d})$ mm Hg	$P_{H_2O}^*(8-16 \text{ d})$ mm Hg
0.88–1.25	13.1 ± 2.4 (n= 8)	13.1 ± 2.6 (n=11)
1.25–1.75	14.2 ± 1.9 (n=17)	14.1 ± 2.3 (n=15)
1.75–2.25	14.6 ± 1.4 (n=17)	14.4 ± 1.7 (n=13)
2.25–2.88	15.5 ± 2.7 (n= 8)	13.3 ± 1.8 (n=11)

* Bij een couveuseluchttemperatuur van 32.0–34.8°C komt dit neer op een relatieve vochtigheid van 31.4–43.5%.

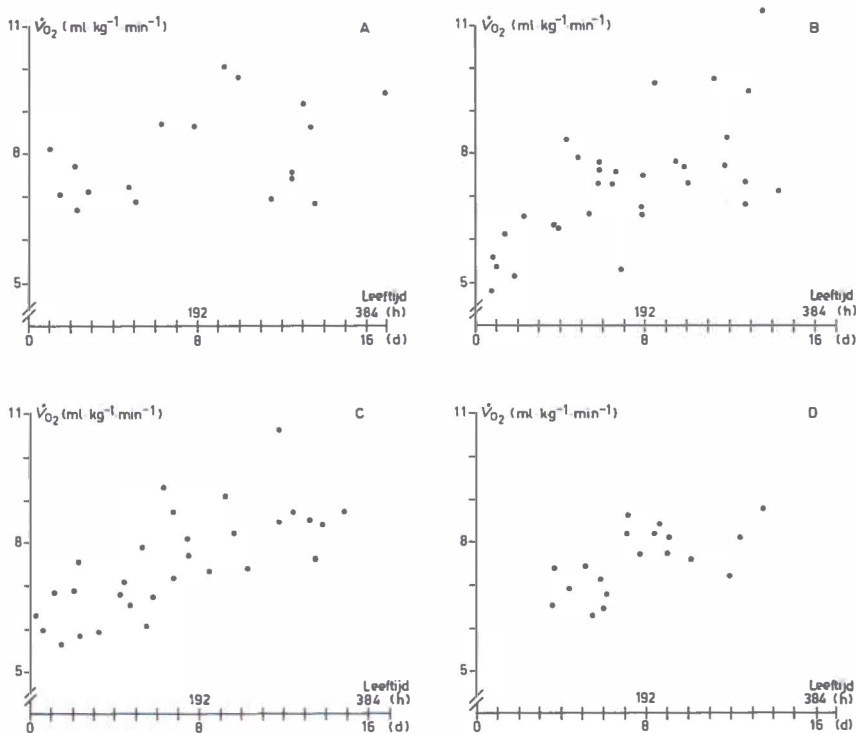


Fig. 11 O_2 opname ($\dot{V}O_2$) van de pasgeborenen en zuigelingen tijdens de afzonderlijke metingen uitgezet tegen de leeftijd voor de gewichtsgroepen 0.88–1.25 kg (A), 1.25–1.75 kg (B), 1.75–2.25 kg (C) en 2.25–2.88 kg (D).

6.3.4 O₂ opname en warmteproductie

De O₂ opname van de pasgeborenen en zuigelingen tijdens de afzonderlijke metingen zijn in fig. 11 voor de gewichtsgroepen uitgezet tegen de leeftijd.

In tabel 16 is de gemiddelde O₂ opname in de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. In de eerste levensweek is er geen significant verschil in de gemiddelde O₂ opname in de verschillende gewichtsgroepen. Hetzelfde geldt voor de tweede levensweek. Wel is er voor alle gewichtsgroepen een significant verschil tussen de gemiddelde O₂ opname in de eerste en in de tweede levensweek; de gemiddelde O₂ opname wordt groter. Opvallend is dat binnen de gewichtsgroep 2.25–2.88 kg de spreiding van de O₂ opname aanzienlijk kleiner is.

Tabel 16 Gemiddelde O₂ opname ($\dot{V}O_2$) van de pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	$\dot{V}O_2$ (8–16 d) (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ (8–16 d) (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
0.88–1.25	7.44 ± 0.67 (n= 8)	8.44 ± 1.19 (n=10)
1.25–1.75	6.63 ± 1.03 (n=17)	8.07 ± 1.36 (n=15)
1.75–2.25	6.91 ± 1.02 (n=17)	8.37 ± 0.86 (n=13)
2.25–2.88	6.87 ± 0.44 (n= 8)	8.07 ± 0.45 (n=11)

In tabel 17 is de gemiddelde warmteproductie berekend uit $\dot{V}O_2$ en $\dot{V}CO_2$, voor de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. Mutatis mutandis geldt voor de warmteproductie hetzelfde wat in het bovenstaande over de O₂ opname is gezegd.

Tabel 17 Gemiddelde warmteproductie (\dot{M}) van pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	\dot{M} (0–7 d) (kcal·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	\dot{M} (8–16 d) (kcal·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)
0.88–1.25	51.3 ± 4.7 (n= 8)	58.8 ± 8.4 (n=10)
1.25–1.75	45.9 ± 7.0 (n=17)	56.7 ± 9.3 (n=15)
1.75–2.25	47.9 ± 7.0 (n=17)	58.0 ± 6.0 (n=13)
2.25–2.88	46.7 ± 2.7 (n= 8)	55.6 ± 3.3 (n=11)

6.3.5 Warmteafgifte door verdamping

De verdamping bij de pasgeborenen en zuigelingen tijdens de afzonderlijke metingen is in fig. 12 voor de gewichtsgroepen uitgezet tegen de leeftijd.

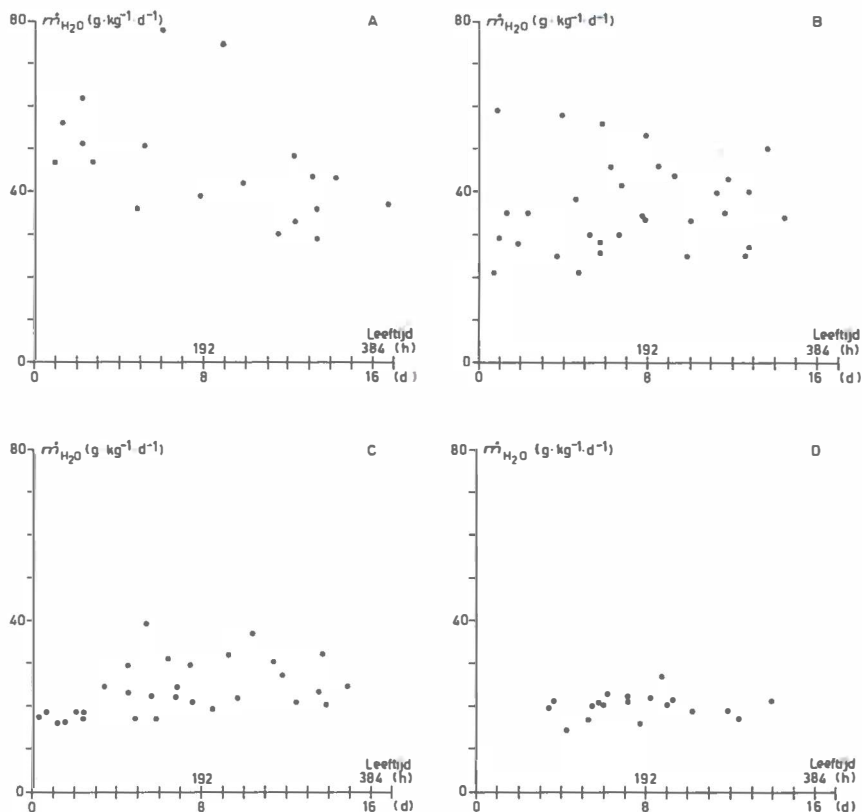


Fig. 12 Verdamping (\dot{m}_{H_2O}) bij de pasgeborenen en zuigelingen tijdens de afzonderlijke metingen uitgezet tegen de leeftijd voor de gewichtsgroepen 0.88–1.25 kg (A), 1.25–1.75 kg (B), 1.75–2.25 kg (C) en 2.25–2.88 kg (D).

In tabel 18 is de gemiddelde verdamping in de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. In de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg is de gemiddelde verdamping in de eerste levensweek significant groter dan in de gewichtsgroepen 1.25–2.88 kg. In de tweede levensweek is de gemiddelde verdamping in de gewichtsgroepen 0.88–1.25 significant groter dan in de gewichtsgroepen 1.75–2.88 kg. Er is voor de verschillende gewichtsgroepen geen significant verschil tussen de gemiddelde verdamping in de eerste en in de tweede levensweek. Het is opvallend dat de spreiding van de verdamping binnen de gewichtsgroep 2.25–2.88 kg het kleinst is.

In tabel 19 is de gemiddelde warmteafgifte door verdamping in de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. Aangezien de warmteafgifte door verdamping direkt is berekend uit de verdamping geldt voor de warmteafgifte door verdamping wat over de verdamping reeds is gezegd.

Tabel 18 Gemiddelde verdamping (\dot{m}_{H_2O}) bij pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	\dot{m}_{H_2O} (0–7 d) (g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	\dot{m}_{H_2O} (8–16 d) (g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)
0.88–1.25	54.2 ± 13.0 (n= 8)	42.2 ± 13.4 (n=11)
1.25–1.75	36.1 ± 12.4 (n=17)	37.2 ± 8.6 (n=15)
1.75–2.25	22.4 ± 6.2 (n=17)	26.1 ± 5.8 (n=13)
2.25–2.88	19.4 ± 2.5 (n= 8)	20.8 ± 2.8 (n=11)

Tabel 19 Gemiddelde warmteafgifte door verdamping (\dot{H}_e) van pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	\dot{H}_e (0–7 d) (kcal·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	\dot{H}_e (8–16 d) (kcal·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)
0.88–1.25	31.4 ± 7.8 (n=11)	24.4 ± 7.8 (n=11)
1.25–1.75	21.0 ± 7.2 (n=17)	21.8 ± 5.0 (n=15)
1.75–2.25	13.0 ± 3.6 (n=17)	15.2 ± 3.4 (n=13)
2.25–2.88	11.2 ± 1.5 (n= 8)	12.1 ± 1.6 (n=11)

6.3.6 Warmteafgifte door straling en convectie

De gemiddelde warmteproductie en de gemiddelde warmteafgifte door verdamping in de verschillende gewichtsgroepen zijn voor de eerste en voor de tweede levensweek uitgezet in fig. 13a en fig. 13b. Het verschil tussen deze grootheden geeft de gemiddelde warmteafgifte door straling en convectie aan. In tabel 20 is de gemiddelde warmteafgifte door straling en convectie in de gewichtsgroepen in de eerste en in de tweede levensweek weergegeven. In de gewichtsgroepen 0.88–1.75 kg is de gemiddelde warmteafgifte door straling en convectie in de eerste levensweek significant lager dan de gemiddelde warmteafgifte door straling en convectie in de gewichtsgroep 1.75–2.88 kg. In de tweede levensweek is het verschil kleiner, maar wel significant. Tussen de gemiddelde warmteafgifte door straling en convectie in de

eerste en in de tweede levensweek bestaat een statistisch significant verschil voor alle gewichtsgroepen. De warmteafgifte door straling en convection wordt groter. De spreiding van de warmteafgifte door straling en convection is in de gewichtsgroep 2.25–2.88 kg het kleinst.

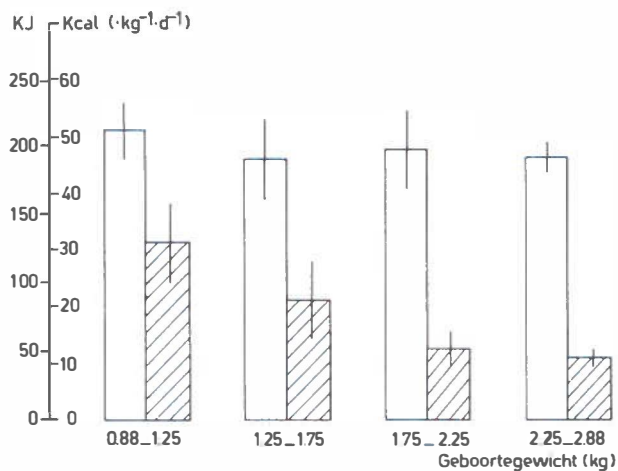


Fig. 13a Gemiddelde warmteproductie (wit) en gemiddelde warmteafgifte door verdamping (gearceerd) voor de gewichtsgroepen in de eerste levensweek.

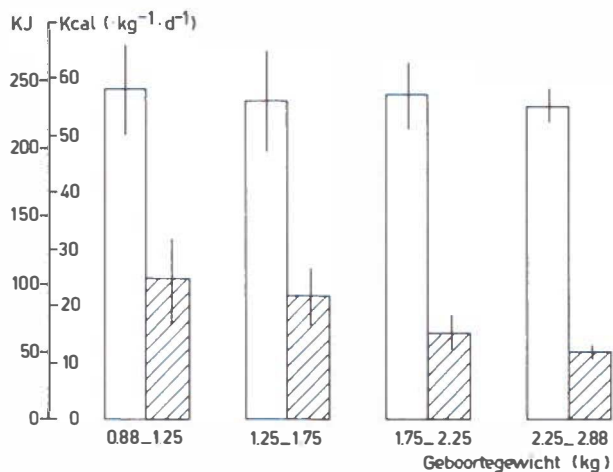


Fig. 13b Gemiddelde warmteproductie (wit) en gemiddelde warmteafgifte door verdamping (gearceerd) voor de gewichtsgroepen in de tweede levensweek.

Tabel 20 Gemiddelde warmteafgifte door straling en convectie ($\dot{H}_r + \dot{H}_c$) van pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0–7 d) en in de tweede (8–16 d) levensweek

Geboortegewicht (kg)	$\dot{H}_r + \dot{H}_c$ (0–7 d) (kcal·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	$\dot{H}_r + \dot{H}_c$ (8–16 d) (kcal·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)
0.88–1.25	19.9 ± 5.4 (n= 8)	34.4 ± 7.1 (n=10)
1.25–1.75	24.9 ± 10.2 (n=17)	34.9 ± 8.8 (n=15)
1.75–2.25	34.9 ± 5.5 (n=17)	42.8 ± 6.1 (n=13)
2.25–2.88	35.5 ± 2.7 (n= 8)	43.5 ± 3.0 (n=11)

Hoofdstuk 7

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

7.1 Discussie

7.1.1 Methoden van onderzoek

Het onderzoek had tot doel de warmtehuishouding te bestuderen van pasgeborenen met een laag geboortegewicht in een in de Groningse kinderkliniek in gebruik zijnde couveuse, en de resultaten hiervan te vergelijken met de warmtehuishouding van kinderen bepaald in experimentele klimaatkamertjes en convectiecouveuses. In tegenstelling tot de conventionele convectiecouveuse wordt de cylindervormige wand van de in de Groningse kinderkliniek in gebruik zijnde couveuse verwarmd, heeft geen bevochtiging van het instromende gas plaats en is de luchtsnelheid zeer laag. Om voor de praktijk toepasbare gegevens te verkrijgen, mocht de bepaling van de warmtehuishouding de kondities waaronder het kind in de couveuse werd verpleegd, niet verstoren. Dit betekende, dat voor de bepaling van de warmtehuishouding geen gebruik kon worden gemaakt van een calorimeter. In een calorimeter (3.1.2) wordt de warmteafgifte door straling en convectorie gemeten en kan na bepaling van de warmteafgifte door verdamping, de warmteproductie worden berekend. Voor de bepaling van de warmtehuishouding van het kind in de couveuse kan wel gebruik worden gemaakt van indirecte calorimetrie (3.1.3). Dit komt neer op de bepaling van de warmteproductie uit O_2 opname en CO_2 afgifte. Na bepaling van de warmteafgifte door verdamping, kan dan de warmteafgifte door straling en convectorie worden berekend.

De nauwkeurigheid van de bepaling van de warmteproductie hangt af van de nauwkeurigheid waarmee de O_2 opname (\dot{V}_{O_2}) en de CO_2 afgifte (\dot{V}_{CO_2}) worden bepaald. Voor de bepaling van \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} is gebruik gemaakt van een met uitademingsgas geijkte diaferometer (5.1.4). \dot{V}_{O_2} wordt berekend uit de geregistreerde uitslag van het O_2 kanaal $\Delta G_{O_2}(T)$ met vergelijking (23), die berust op vergelijking (18) en die geschreven kan worden als

$$\dot{V}_{O_2} = \frac{-\Delta G_{O_2}(T) \cdot \dot{V}_v \cdot (1 - F_{CO_2}^D - F_{H_2O}^D)}{S'_{O_2}} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (39)$$

De nauwkeurigheid van de bepaling van \dot{V}_{O_2} is afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee de uitslag van het O_2 kanaal $\Delta G_{O_2}(T)$ wordt gemeten, de gasstroomsterkte \dot{V}_v wordt ingesteld en voorts van de nauwkeurigheid waarmee de factor $(1 - F_{CO_2}^D - F_{H_2O}^D)$ en de schijnbare O_2 gevoeligheid van het O_2 kanaal S'_{O_2} bekend zijn. \dot{V}_{CO_2} wordt berekend uit het geregistreerde uitslag van het CO_2 kanaal $\Delta G_{CO_2}(T)$ met vergelijking (24), die berust op vergelijking (19) en die kan worden geschreven als

$$\dot{V}_{CO_2} = \frac{\Delta G_{CO_2}(T) \cdot \dot{V}_v}{S'_{CO_2}} \cdot \frac{(1 - F_{H_2O}^D)}{(1 - F_{H_2O}^Z)} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} + \dot{V}_{O_2} \cdot \frac{S'^{CO_2}_{O_2}}{S'_{CO_2}} \quad (40)$$

De nauwkeurigheid van de bepaling van \dot{V}_{CO_2} is afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee de uitslag van het CO_2 kanaal $\Delta G_{CO_2}(T)$ wordt gemeten, de gasstroomsterkte \dot{V}_v wordt ingesteld, en voorts van de nauwkeurigheid waarmee de faktor $(1 - F_{H_2O}^D) / (1 - F_{H_2O}^Z)$ de schijnbare O_2 gevoeligheid van het CO_2 kanaal $S'^{CO_2}_{O_2}$ en de schijnbare CO_2 gevoeligheid van het CO_2 kanaal S'_{CO_2} bekend zijn. De geschatte fouten van de grootheden waaruit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} worden berekend, zijn op de door Ten Hoor et al.¹²⁹ aangegeven wijze vermeld in tabel 21. Uit de geschatte fouten volgt dat \dot{V}_{O_2} met een nauwkeurigheid van ongeveer 3.9% en \dot{V}_{CO_2} met een nauwkeurigheid van ongeveer 4.3% is bepaald.

De nauwkeurigheid van de bepaling van de warmteproductie is niet alleen afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee \dot{V}_{O_2} is bepaald, maar ook van de calorische waarde die aan O_2 is toegekend. Wanneer aan O_2 een calorische waarde van $4.83 \text{ kcal} \cdot \text{l}^{-1}$ wordt toegekend, is bij een respiratoir quotiënt $R = 0.706$ de afwijking + 4.1% en bij $R = 1.00$ de afwijking - 3.4%. Aangezien \dot{V}_{O_2} met een nauwkeurigheid van 3.9% wordt bepaald, moet bij de berekening van de warmteproductie uit \dot{V}_{O_2} alléén met een nauwkeurigheid van ongeveer 8% worden gerekend. In dit onderzoek is de warmteproductie berekend uit \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} met vergelijking (29). Uit de nauwkeurigheid van de bepaling van \dot{V}_{O_2} en van \dot{V}_{CO_2} volgt dat de warmteproductie in dit onderzoek met een nauwkeurigheid van ongeveer 4% is bepaald.

Voor de bepaling van de verdamping is gebruik gemaakt van continue weging met behulp van een speciaal voor dit doel gekonstrueerde balans (5.5.3). De nauwkeurigheid waarmee de hiermee gemeten gewichtsvermindering \dot{m}_b wordt bepaald,

Tabel 21. Invloed van de geschatte fouten van de voor berekening van \dot{V}_{O_2} opname (\dot{V}_{O_2}) en CO_2 afgifte (\dot{V}_{CO_2}) gebruikte grootheden op de berekening van \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} .

Grootheid	Eenheid	Waarde	s.e.	n	Geschatte fout (%)	Invloed op de berekening van	
						\dot{V}_{O_2} (%)	\dot{V}_{CO_2} (%)
$\Delta G_{O_2} (T)$	mm	~22	—	—	1.3*	1.3	—
$\Delta G_{CO_2} (T)$	mm	~22	—	—	1.3*	—	1.3
\dot{V}_v	ml.min ⁻¹	8416.9	124.3**	10	1.5	1.5	1.5
$S_{O_2}^{CO_2}$	mm	+12428	112.8	30	0.9	0.9	—
$S_{CO_2}^{CO_2}$	mm	-12935	66.2	20	0.5	—	0.5
$S_{O_2}^{CO_2}$	mm	+1242.8***	—	—	10.0	—	0.8
$(1-F_{CO_2}^D \cdot F_{H_2O}^D)$	—	0.98	—	—	0.2	0.2	—
$(1-F_{H_2O}^D)$	—	—	—	—	—	—	—
$(1-F_{H_2O}^Z)$	—	1.02	—	—	0.2	—	0.2

s.e. = standaardafwijking van het gemiddelde;

n = aantal bepalingen

* een afleesfout van 0.25 mm werd aangenomen;

** standaardafwijking van de individuele bepaling;

*** Ten Hoor et al.¹²⁹ vonden bij directe bepaling dat $S_{O_2}^{CO_2} = 0.108 S_{O_2}^{O_2}$ (s.e. = 4.9%). Op grond hiervan werd $S_{O_2}^{CO_2}$ gesteld op 0.1 van de waarde van $S_{O_2}^{O_2}$ (5.4.5). Dat zelfs een fout van 10% in $S_{O_2}^{CO_2}$ niettemin slechts een kleine fout in \dot{V}_{CO_2} veroorzaakt, is het gevolg van het feit dat $S_{O_2}^{CO_2} / S_{CO_2}^{CO_2} \cdot \dot{V}_{O_2} \approx 0.1 \dot{V}_{O_2}$.

is afhankelijk van de afleesnauwkeurigheid van de registratie hiervan op de potentiometerschrijver. Bij een gemiddelde uitslag van de pen van 60 mm en een aangenomen afleesfout van 0.25 mm, bedraagt de nauwkeurigheid waarmee \dot{m}_b is bepaald, ongeveer 0.4%. De verdamping \dot{m}_{H_2O} wordt met vergelijking (37) berekend uit de geregistreerde gewichtsvermindering \dot{m}_b en de bepaalde O_2 opname \dot{V}_{O_2} en CO_2 afgifte \dot{V}_{CO_2} . Dat het noodzakelijk is bij de bepaling van de verdamping door weging rekening te houden met het verschil in massa van de opgenomen O_2 en de afgegeven CO_2 blijkt uit de volgende berekening. Voor $\dot{m}_b = 42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (een grote verdamping), $\dot{V}_{O_2} = 8.00 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en $\dot{V}_{CO_2} = 6.88 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ wordt bij weglating van de \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} bevattende termen uit vergelijking (37) een fout van + 5.4% in \dot{m}_{H_2O} gemaakt; bij $\dot{m}_b = 14 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (een geringe verdamping), $\dot{V}_{O_2} = 8.00 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en $\dot{V}_{CO_2} = 6.88 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ is de

fout zelfs + 18.3%. De verdamping $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$ kan dus niet zonder meer worden gelijkgesteld aan de gewichtsvermindering \dot{m}_b . De nauwkeurigheid van de bepaling van $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$ uit \dot{m}_b , \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} met vergelijking (37) is afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee \dot{m}_b , \dot{V}_{O_2} en \dot{V}_{CO_2} zijn gemeten, en van de verhouding van \dot{m}_b en het verschil in massa tussen opgenomen O_2 en afgegeven CO_2 . Voor $\dot{m}_b = 42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $\dot{V}_{\text{O}_2} = 8.00 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en $\dot{V}_{\text{CO}_2} = 6.88 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ is de nauwkeurigheid van de $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$ bepaling 3.0%; bij $\dot{m}_b = 14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $\dot{V}_{\text{O}_2} = 8.00 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en $\dot{V}_{\text{CO}_2} = 6.88 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ is de nauwkeurigheid 9.2%. De nauwkeurigheid van de bepaling van de warmteafgifte door verdamping \dot{H}_e is uiteraard gelijk aan die waarmee $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$ is bepaald.

De nauwkeurigheid van de bepaling van de warmteafgifte door straling en convectorie $\dot{H}_r + \dot{H}_c$ met vergelijking (35) is niet alleen afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee \dot{M} en \dot{H}_e zijn bepaald, maar ook van de verhouding tussen \dot{M} en \dot{H}_e . Voor $\dot{m}_b = 42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $\dot{V}_{\text{O}_2} = 8.00 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en $\dot{V}_{\text{CO}_2} = 6.88 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ is de nauwkeurigheid waarmee $\dot{H}_r + \dot{H}_c$ is bepaald 14.4%; bij $\dot{m}_b = 14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $\dot{V}_{\text{O}_2} = 8.00 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en $\dot{V}_{\text{CO}_2} = 6.88 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ is de nauwkeurigheid 6.9%. De warmteafgifte door straling en convectorie is berekend uit de warmteproductie en de warmteafgifte door verdamping, aannemende dat de lichaamstemperatuur tijdens de metingen konstant is geweest, zodat geen warmte in de weefsels is opgeslagen of verloren gegaan. Tijdens de metingen waren de rectale temperatuur en de abdominale huidtemperatuur konstant. Het is mogelijk dat de temperatuur op andere plaatsen van het lichaam, met name de extremiteiten niet konstant is geweest. Volgens Hey en Maurice⁶² is een konstante rectale temperatuur voldoende om bij het opstellen van een warmtebalans de opslag of afgifte van warmte in het lichaam te mogen verwaarlozen. Dit is een gevolg van het feit dat veranderingen in de temperatuur van de extremiteiten volgens Klein en Scammon⁷⁶ en Burton en Edholm²⁹ maar voor 18% bijdragen aan de verandering van de gemiddelde lichaamstemperatuur.

7.1.2 Klimaat in de couveuse

Het klimaat in de couveuse wordt bepaald door de luchttemperatuur, de wandtemperatuur, de vochtigheid en de luchtsnelheid (2.3). In de convectiecouveuse worden de luchttemperatuur en de vochtigheid geregeld. De wandtemperatuur is afhankelijk van de temperatuur van het vertrek waarin de couveuse staat opgesteld (2.3), terwijl de luchtsnelheid afhankelijk is van de manier waarop de lucht door de couveuse wordt voortbewogen. In de in dit onderzoek gebruikte couveuse worden de wand- en de luchttemperatuur geregeld. De vochtigheid is afhankelijk van de vochtigheid van het de couveuse binnenstromende gas en de verdamping van het kind, en de luchtsnelheid is konstant en gering. Het is tot dusver niet gebruikelijk om alle factoren die het klimaat in de couveuse bepalen samen te vatten in één

grootheid. Hey en Mount^{63, 64} hebben dit voor de convectiecouveruse wel gedaan voor zover het de wand- en de luchttemperatuur betreft, met het begrip operationele temperatuur (2.3). De operationele temperatuur kan met vergelijking (1) worden berekend. Deze vergelijking geldt echter, bij één bepaalde luchtsnelheid en vochtigheid in de door Hey en Mount^{63, 64} bedoelde convectiecouveruse en is niet van toepassing op een ander type couveuse. Hoewel de operationele temperatuur een veel gebruikte benadering is, kan het klimaat van couveuses hiermee alléén niet onderling worden vergeleken; luchtsnelheid en vochtigheid zijn hierin immers niet begrepen. In de praktijk komt het er dan ook op neer, dat het klimaat in couveuses voorlopig alleen onderling kan worden vergeleken aan de hand van de factoren die dit klimaat bepalen. Vergelijking op deze manier is echter moeilijk doordat in de meeste publikaties voor zover het convectiecouveruses betreft, alleen de luchttemperatuur en de vochtigheid zijn vermeld, en niet de wandtemperatuur en de luchtsnelheid. Waar het experimentele klimaatkamertjes betreft, zijn de wandtemperatuur en de luchtsnelheid meestal wel opgegeven.

In dit onderzoek is, voor zover het de couveusewand- en de luchttemperatuur betreft, op grond van de lage vochtigheid gekozen voor de door Hey⁶¹ geadviseerde operationele temperatuur (tabel 2). Couveusewand- en luchttemperatuur zijn hierop ingesteld. Aangezien deze vrijwel aan elkaar gelijk zijn (tabel 13 en 14), is de gewenste operationele temperatuur verkregen zonder dat gebruik is gemaakt van de in vergelijking (1) genoemde gewichtsfactoren. In fig. 14 zijn de in dit onderzoek ingestelde couveusewand- en luchttemperatuur en de in de *Standards and Recommendations for Hospital Care of Newborn Infants*¹²⁷ geadviseerde couveusetemperatuur (d.w.z. de temperatuur van de zich in de couveuse bevindende thermometer) voor verschillende gewichtsgroepen uitgezet tegen de leeftijd. In dit onderzoek waren de ingestelde couveusewand- en luchttemperatuur meestal hoger (2.3).

De vochtigheid in de couveuse (tabel 15) was lager dan de voor de convectiecouveruse geadviseerde¹²⁷ relatieve vochtigheid van ongeveer 50%. Het in de couveuse binnenstromende gas werd niet extra bevochtigd, zoals in de convectiecouveruse om het daarmee gepaard gaande gevaar van bacteriële besmetting te vermijden. Dit laatste werd belangrijker geacht, dan het eventuele voordeel van bevochtiging van het de couveuse binnenstromende gas.

De gemeten luchtsnelheid in de in dit onderzoek gebruikte couveuse is $< 0.050 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en bedraagt naar schatting $0.002 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (5.3.3). De luchtsnelheid is waarschijnlijk op vrijwel elke plaats in de couveuse gelijk. Dit komt omdat de lucht aan de ene kant van de cilindervormige couveuse wordt ingelaten en aan de andere kant weer naar buiten stroomt. In de blokvormige convectiecouveruse circuleert de lucht daarentegen; de verwarmde lucht wordt aan een kant in de couveuse ingelaten en aan dezelfde kant weer afgezogen. Dit heeft tot gevolg dat de luchtsnelheid in de convectiecouveruse niet overal gelijk is. In een transportcouveruse met geforceerde convectie werd, met onze anemometer (5.3.3), 1 cm boven de luchtuitstroom-

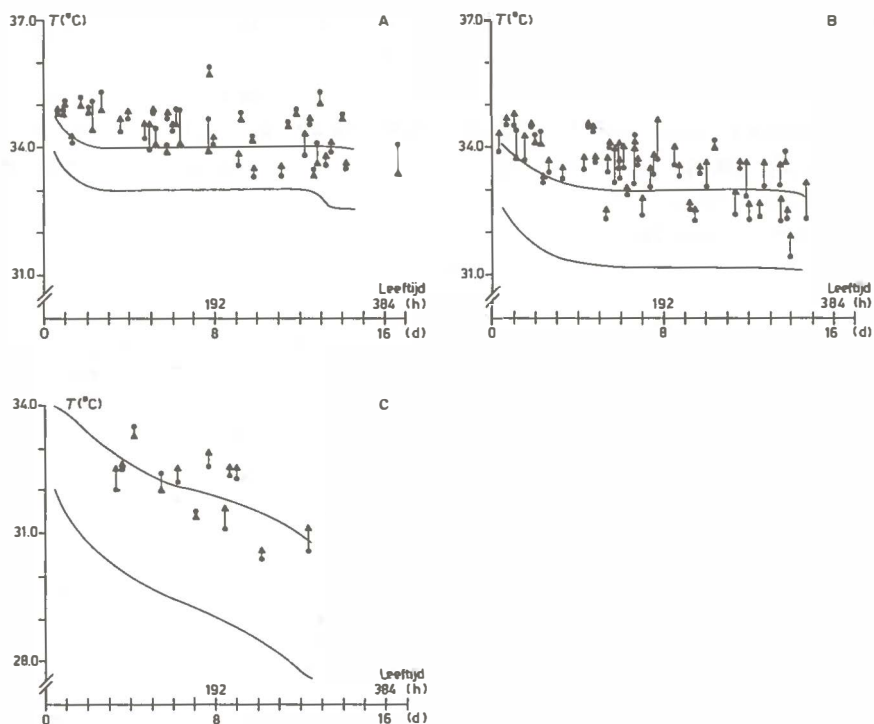


Fig. 14. Grenzen van de neutrale omgevingstemperatuur volgens de *Standards and Recommendations for hospital Care of Newborn Infants*¹²⁷ (—) en de couveusewandtemperatuur (●) en de couveuseluchttemperatuur (▲) tijdens de afzonderlijke metingen, uitgezet tegen de leeftijd voor de gewichtsgroepen < 1.5 kg (A), 1.5–2.5 kg (B) en > 2.5 kg (C) geboortegewicht.

opening een lichtsnelheid van $1.26 \pm 0.044 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($n=5$) gemeten en 5 cm boven het midden van het matras van $0.120 \pm 0.004 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($n=5$). Volgens Hey en Mount⁶⁴ bedraagt de lichtsnelheid in een couveuse met geforceerde convectie 5 cm boven het midden van het matras $0.040 - 0.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en in een couveuse met natuurlijke convectie $0.030 - 0.080 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. De geschatte lichtsnelheid in onze couveuse is dan ook aanzienlijk lager dan de lichtsnelheid in de convectiecouveuse.

In vergelijking met het klimaat in de convectiecouveuse verschilt het klimaat in onze couveuse in alle vier factoren. De couveusewand- en luchttemperatuur zijn hoger, de vochtigheid en de lichtsnelheid lager.

7.1.3 Warmteproductie

De bepaling van warmteproductie van de bij dit onderzoek betrokken pasgeborenen

en zuigelingen kan worden omschreven als bepaling van de *resting metabolic rate* (RMR) (3.2.1) bij heersende temperatuur, vochtigheid en luchtsnelheid in de couveuse. Vergelijking van de O₂ opname, als maat voor de warmteproductie, van pasgeborenen en zuigelingen in de in dit onderzoek gebruikte couveuse met de O₂ opname van pasgeborenen en zuigelingen in andere couveuses of experimentele klimaatkamertjes, is zinvol voor zover de RMR is bepaald. In tabel 22 zijn de bevindingen van verschillende auteurs voor zover het de gemiddelde O₂ opname van pasgeborenen en zuigelingen met een laag geboortegewicht betreft, weergegeven. De

Tabel 22. Gemiddelde O₂ opname (\dot{V}_{O_2}) van pasgeborenen met een laag geboortegewicht in de eerste (1) en in de tweede levensweek (2) in experimentele klimaatkamertjes (A) en in couveuses (B).

Auteur	Geboortegewicht (kg)	\dot{V}_{O_2} (1) (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	\dot{V}_{O_2} (2) (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	
A	Hey ³⁷ (1968)	1.0 – 1.5	5.84 (1–2d)* 6.37 (4–6d)	7.60 (9–11d)
		1.5 – 2.0	6.34 (1–2d) 6.61 (4–6d)	7.48 (9–11d)
		2.0 – 2.5	6.93 (1–2d) 7.14 (4–6d)	7.96 (9–11d)
	Hill en Robinson ⁶⁸ (1968)	1.47±0.44	6.06 (2–7d)	6.48 (7–14d)
		2.19±0.45	6.46 (2–7d)	7.34 (7–14d)
		2.00±0.46**	7.21 (2–7d)	7.63 (7–14d)
	Mestyan et al. ⁹² (1964)	1.0 – 1.5	4.43 (3–8d)	4.90 (9–14d)
		1.5 – 2.0	4.93 (3–8d)	5.63 (9–14d)
	Scopes en Ahmed ¹¹² (1966)	1.28	4.90 (2–8d)	5.74 (10–11d)
		1.97	5.54 (2–8d)	6.49 (8–14d)
		2.09**	5.93 (2–8d)	6.88 (8–14d)
	Bhakoo en Scopes ⁹ (1971)	1.94 – 2.70	6.75 (3–4d) 7.45 (5–6d)	
	Van der Vlugt ¹³² (1967)	1.15–2.33	4.74 (1–7d)	5.78 (7–10d)
		1.58–2.48**	5.29 (1–7d)	6.56 (7–10d)
Kraus en Auld ⁷⁷ (1969)	< 1.25	7.2 (1–4d)	7.4 (5–10d)	
	1.25 – 1.50	6.7 (1–4d)	7.3 (5–10d)	
	> 1.50	7.5 (1–4d)	7.8 (5–10d)	
B	Miller et al. ⁹⁵ (1962)	1.64–2.37	7.2 (1–9d)	
	Eigen onderzoek	0.88 – 1.25	7.44 (0–7d)	8.44 (8–16d)
		1.25 – 1.75	6.63 (0–7d)	8.07 (8–16d)
		1.75 – 2.25	6.91 (0–7d)	8.37 (8–16d)
		2.25 – 2.88	6.87 (0–7d)	8.07 (8–16d)

* Leeftijd in d.

** Door de auteurs dysmatuur of *small for dates* genoemd.

gemiddelde O₂ opname van pasgeborenen in de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg in de in dit onderzoek gebruikte couveuse komt in de eerste levensweek overeen met de bevindingen van Kraus en Auld⁷⁷ en van Hey³⁷ in experimentele klimaatkamertjes. De andere in tabel 22 vermelde auteurs geven iets lagere waarden aan. In de tweede levensweek is de gemiddelde O₂ opname van zuigelingen in deze gewichtsgroep in onze couveuse hoger. De verschillen zijn echter niet groot. De gemiddelde O₂ opname van pasgeborenen in de gewichtsgroep 1.25–2.88 kg gemeten in onze couveuse komt in de eerste levensweek overeen met de bevindingen van Hey³⁷, Hill en Robinson⁶⁸, Bhakoo en Scopes⁹ en van Kraus en Auld⁷⁷ in experimentele klimaatkamertjes. Mestyan et al.⁹², Scopes en Ahmed¹¹² en Van der Vlugt¹³² geven voor experimentele klimaatkamertjes lagere waarden aan, Kraus en Auld⁷⁷ daarentegen hogere. Miller et al.⁹⁵ vinden voor een convectiecouveuse ook hogere waarden. In de tweede levensweek komt de gemiddelde O₂ opname van zuigelingen in deze gewichtsgroep ten dele overeen met de bevindingen van Hey³⁷ en van Kraus en Auld⁷⁷ in experimentele klimaatkamertjes. De andere auteurs geven iets lagere waarden aan.

Het is de vraag wat de betekenis is van de overeenkomsten en verschillen die bij vergelijking van de gemiddelde O₂ opname van pasgeborenen en zuigelingen in de in dit onderzoek gebruikte couveuse en in andere couveuses of experimentele klimaatkamertjes, worden gevonden. De voor vergelijking gebruikte maat, de *resting metabolic rate*, heeft immers geen bepaalde absolute waarde, maar hangt af van verschillende factoren zoals het klimaat in de couveuse en de voeding van het kind (3.2.1). Bovendien zijn de in tabel 22 aangegeven gewichtsgroepen verschillend van onze gewichtsgroepen; dit geldt ook voor het tijdstip waarop de gemiddelde O₂ opname is bepaald. In de meeste gevallen is ook de nauwkeurigheid waarmee de O₂ opname is bepaald, niet vermeld. Dit heeft tot gevolg dat slechts een globale vergelijking kan worden gemaakt.

Het is opvallend dat de meeste bepalingen van de RMR van pasgeborenen en zuigelingen met een laag geboortegewicht tot dusver in experimentele klimaatkamertjes zijn verricht. Er zijn vrijwel geen bepalingen van de RMR in voor verpleging gebruikte couveuses bekend. Toch is het bij de verpleging van pasgeborenen en zuigelingen in couveuses van belang om te weten hoe groot de stofwisseling van het kind is. Dit geldt niet alleen voor die pasgeborenen aan wie in de eerste levensdagen onvoldoende voedingsstoffen kunnen worden toegediend, maar ook voor de snelgroeïende zuigeling met een laag geboortegewicht. De RMR van pasgeborenen en zuigelingen in de in dit onderzoek gebruikte couveuse komt overeen met de bevindingen van Hey³⁷. Het klimaat in de couveuse komt immers, wat couveusewand- en luchttemperatuur betreft, overeen met de door Hey⁶¹ geadviseerde temperatuur, de vochtigheid en de luchtsnelheid zijn echter lager. Dat er tussen de bevindingen van Hey en die van dit onderzoek, en de bevindingen van anderen (tabel 22) verschillen voorkomen kan het gevolg zijn van vele factoren die

de RMR beïnvloeden. In hoeverre verschillen in het klimaat in de experimentele klimaatkamertjes hiervoor verantwoordelijk zijn, is onvoldoende na te gaan. Uit de gegevens van de literatuur hierover (tabel 22) is in de meeste gevallen niet aan te nemen dat de temperatuur in het experimentele klimaatkamertje zodanig (laag) is geweest dat de O₂ opname als gevolg van de koude responsie (2.2.1) is gestegen. Het is in een aantal gevallen mogelijk dat de temperatuur in het experimentele klimaatkamertje zodanig (hoog) is geweest, dat de warmteproductie hierdoor daalde. Ryser en Jéquier¹¹¹ menen te hebben waargenomen dat *at high environmental temperature, the metabolic rate decreases to a minimal value in order to counterbalance the decreased heat loss. The minimal metabolic rate would then be a thermoregulatory response to the warm environments.*

Wat de invloed van de voeding op de RMR betreft, is de waarneming van Bhakoo en Scopes⁹ dat de gemiddelde O₂ opname van pasgeborenen onder dezelfde condities hoger is naarmate de hoeveelheid voeding die in de eerste levensdagen wordt toegediend groter is, van belang. In de afgelopen jaren is immers de hoeveelheid voedingsstoffen die aan pasgeborenen met een laag geboortegewicht worden toegediend, steeds toegenomen. Dit verklaart misschien ook waarom de gemiddelde O₂ opname van pasgeborenen en zuigelingen in de in dit onderzoek gebruikte couveuse hoger is dan de door Van der Vlugt¹³² negen jaren te voren in de Groningse kinderkliniek in een experimenteel klimaatkamertje waargenomen O₂ opname.

Het valt op dat de gemiddelde O₂ opname van pasgeborenen in de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg in onze couveuse in de eerste levensweek iets groter is dan die van de gewichtsgroep 1.25–1.88 kg. Dit is bij pasgeborenen van de vergelijkbare gewichtsgroepen in experimentele klimaatkamertjes (tabel 22) juist niet het geval. De gemiddelde rectale temperatuur (36.2 ± 0.3 °C; tabel 11) en de gemiddelde abdominale huidtemperatuur (35.8 ± 0.3 ; tabel 12) van de pasgeborenen in deze gewichtsgroep zijn daarbij in onze couveuse iets lager dan die van pasgeborenen in de andere gewichtsgroepen. Dit zou er op kunnen wijzen dat bij deze pasgeborenen de O₂ opname is toegenomen als gevolg van de koude responsie (2.2.1.). Volgens Brück en al.²⁵ en Silverman¹¹⁵ is de rectale temperatuur van pasgeborenen met een laag geboortegewicht in de eerste levensweek in de convectiecouveuse vaak lager dan 36°C, zonder dat hierbij een toename van de O₂ opname wordt waargenomen.

7.1.4 Warmteafgifte

De warmteafgifte van het kind in de in dit onderzoek gebruikte couveuse vindt plaats door verdamping en door straling en convectie. Evenals dit voor de warmteproductie het geval is, is de warmteafgifte door verdamping in rust bepaald, bij heersende temperatuur, vochtigheid en luchtsnelheid in de couveuse.

De verdamping bij de pasgeborenen en zuigelingen van verschillend geboortegewicht is, uitgedrukt in g per kg per dag, niet gelijk. Tussen verschillende gewichtsgroepen pasgeborenen en zuigelingen worden veel grotere verschillen in verdamping gevonden, dan bij de warmteproductie het geval is. Dit geldt zowel voor de verdamping bij het kind in onze couveuse (tabel 18) als voor die in convectiecouveuses en experimentele klimaatkamertjes (tabel 4). Het valt op dat de gemiddelde verdamping bij pasgeborenen en zuigelingen met een zeer laag geboortegewicht (< 1.25 kg) het grootst is. Dat dit niet alleen het gevolg is van het naar verhouding grote lichaamsoppervlak van de pasgeborene met een zeer laag geboortegewicht (het quotiënt lichaamsoppervlak gedeeld door lichaamsgewicht wordt immers groter naarmate het kind een lager geboortegewicht heeft), kan uit de waarnemingen van Fanaroff et al.⁴⁵, en Wu en Hodgman¹⁴³ met een bevochtigde convectiecouveuse en Day et al.³⁴ met een bevochtigd experimenteel klimaatkamertje worden afgeleid (tabel 4). Volgens Hey en Katz⁶⁵ is dit in een door hen gebruikt bevochtigd experimenteel klimaatkamertje niet het geval; de verdamping, uitgedrukt in g per m² per dag, is hierin bij pasgeborenen van verschillend geboortegewicht nagenoeg gelijk.

In de in dit onderzoek gebruikte couveuse is de gemiddelde verdamping bij pasgeborenen en zuigelingen met een zeer laag geboortegewicht uitgedrukt in g per kg per dag, het grootst. Wordt de verdamping uitgedrukt in g per m² per dag, dan wordt het verschil in gemiddelde verdamping tussen de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg en de gewichtsgroep 1.75–2.88 kg weliswaar kleiner, maar blijft aanwezig (tabel 23). Dit wijst er op, dat voor zover het pasgeborenen en zuigelingen in onze

Tabel 23. Gemiddelde verdamping (m_{H_2O}) bij pasgeborenen en zuigelingen in de couveuse in de eerste (0-7d) en in de tweede (8-16) levensweek.

Geboortegewicht (kg)	m_{H_2O} (0-7d) (g.m ² .d ⁻¹)	m_{H_2O} (8-16d) (g.m ² .d ⁻¹)
0.88–1.25	558.1±144.5 (n= 8)	440.4±141.3 (n=11)
1.25–1.75	408.3±133.9 (n=17)	432.9±97.4 (n=15)
1.75–2.25	283.5±78.7 (n=17)	327.8±72.9 (n=13)
2.55–2.88	261.2±34.0 (n= 8)	282.7±37.4 (n=11)

couveuse betreft, andere factoren dan de grootte van het huidoppervlak van invloed zijn op de verdamping. Hiertoe behoren de vochtigheid en de luchtsnelheid in de couveuse, de lichaamstemperatuur, de activiteit van het kind, de RMR en de doorlaatbaarheid van de huid voor water. Aangezien de vochtigheid in onze couveuse (tabel 15) en de luchtsnelheid voor de verschillende gewichtsgroepen nagenoeg gelijk zijn geweest, kunnen deze buiten beschouwing worden gelaten. Dit geldt ook voor de activiteit van het kind; de verdamping werd immers in rust bepaald. De verdamping neemt toe, wanneer de lichaamstemperatuur boven de normale waarde

stijgt. Volgens Hey en Katz⁶⁵ is dit ook bij pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht, in beperkte mate, het geval. In onze couveuse waren de gemiddelde rectale temperatuur (tabel 11) en de gemiddelde abdominale huidtemperatuur (tabel 12) van pasgeborenen en zuigelingen in de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg lager dan de door Hey en Katz⁶⁵ aangegeven normale waarde en duidelijk lager dan in de andere gewichtsgroepen. De gemiddelde rectale temperatuur en de gemiddelde abdominale huidtemperatuur van de pasgeborenen en zuigelingen in de gewichtsgroep 1.25–2.88 kg waren normaal. Het is dus niet waarschijnlijk dat de verhoogde verdamping bij de pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht het gevolg is van een verhoogde lichaamstemperatuur. Hoewel de RMR van de pasgeborenen in de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg groter is dan in de andere gewichtsgroepen in de eerste levensweek, kan de naar verhouding grote verdamping van deze pasgeborenen ook niet alleen hieruit worden verklaard. Dit kan worden afgeleid uit de door Hey en Katz⁶⁶ aangegeven relatie tussen verdamping en *basal metabolic rate* ($\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = (0.355 \pm 0.045) \text{ BMR} + 0.42$). Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat de grotere doorlaatbaarheid van de huid bij pasgeborenen met een zeer laag

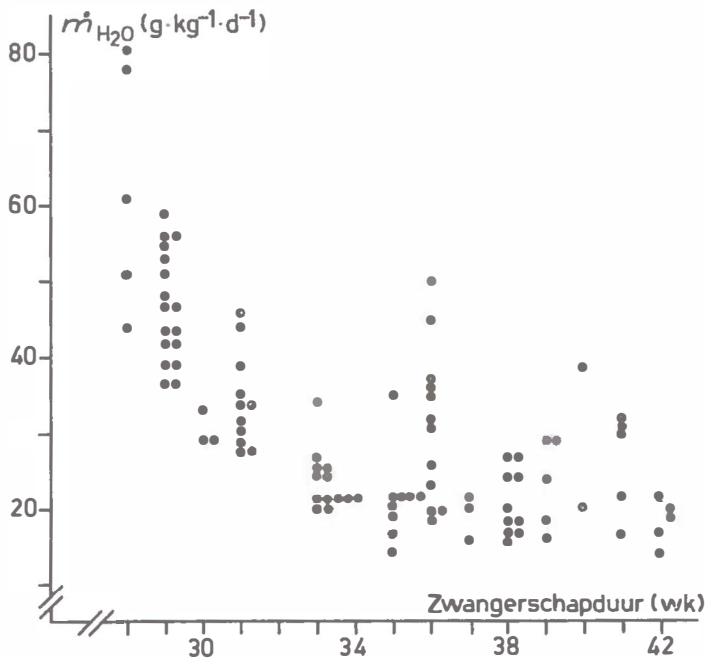


Fig. 15. Verdamping bij pasgeborenen en zuigelingen tijdens de afzonderlijke metingen in de eerste en in de tweede levensweek, uitgezet tegen de duur van de zwangerschap.

geboortegewicht waarschijnlijk mede een verhoogde verdamping tot gevolg heeft. Dit is ook wel begrijpelijk, omdat de huid van prematuren met een zeer laag geboortegewicht zeer dun en doorschijnend is; de structuur ervan is afhankelijk van de duur van de zwangerschap. De waarneming dat de verdamping bij pasgeborenen en zuigelingen geboren na een zwangerschapsduur van 28 weken in onze couveuse het grootst is (fig. 15) is hiermee in overeenstemming.

Bij vergelijking van de eigen waarnemingen met die van Hey en Katz⁶⁵ in een bevochtigd experimenteel klimaatkamertje valt het op, dat de verdamping bij pasgeborenen en zuigelingen in vergelijkbare gewichtsgroepen in onze couveuse hoger is. Het is de vraag of dit alleen het gevolg is van het niet bevochtigen van het de couveuse binnenstromende gas; couveusewand- en luchttemperatuur waren immers ingesteld op de door Hey⁶¹ geadviseerde temperatuur. In onze couveuse was de gemiddelde waterdampspanning 13.1–15.5 mm Hg, in de door Hey en Katz⁶⁵ gebruikte experimentele klimaatkamer 17–19 mm Hg. Het verschil in vochtigheid is niet groot. Het is mogelijk dat de vochtigheid van de couveuselucht een grotere invloed op de verdamping van het kind heeft naarmate de huid dunner is en meer water doorlaat. Door het bevochtigen van de couveuselucht zou dan de verdamping bij pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht gerekend naar het lichaamsoppervlak gelijk worden aan de verdamping bij pasgeborenen met een normaal geboortegewicht⁶⁵. Het is ook mogelijk dat het voor verdamping relevante lichaamsoppervlak van invloed is. In de in dit onderzoek gebruikte couveuse lag het kind immers op een waterdoorlatend nylon net en had daardoor een groter verdampend huidoppervlak dan het kind in het experimentele klimaatkamertje van Hey en Katz⁶⁵; hierin lagen de kinderen op een niet-waterdoorlatend perspex blad.

Bij vergelijking van de eigen waarnemingen met die van Fanaroff et al.⁴⁵ en Wu en Hodgeman¹² in convectiecouveuses valt op, dat de gemiddelde verdamping bij pasgeborenen en zuigelingen met een geboortegewicht < 1.25 kg in de bevochtigde convectiecouveuse groter is dan in onze niet bevochtigde couveuse. De gemiddelde verdamping van pasgeborenen en zuigelingen met een geboortegewicht > 1.25 kg is in beide couveuses nagenoeg gelijk. Dit verschil in verdamping bij pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht in onze niet bevochtigde couveuse en in de bevochtigde convectiecouveuse vraagt nadere verklaring. In tegenstelling tot de verwachting blijkt de gemiddelde verdamping van pasgeborenen en zuigelingen in onze couveuse lager of nagenoeg gelijk te zijn aan de gemiddelde verdamping in de bevochtigde convectiecouveuses. Het is aan te nemen dat hierbij vooral de luchtsnelheid een belangrijke rol speelt. Hoewel men de lucht in de convectiecouveuse nagenoeg stilstaand noemt, is de gemiddelde snelheid ervan ongeveer 25 maal zo groot als de luchtsnelheid in onze couveuse. In dit opzicht is het merkwaardig en ons inziens ongewenst dat in de (couveuse)industrie de opvatting bestaat dat de luchtsnelheid in de convectiecouveuse dient te worden verhoogd teneinde de couveusewand beter te verwarmen. Het is de vraag of het voordeel van het bevoch-

tigen van het de couveuse binnenstromende gas opweegt tegen het nadeel (vermeerderde verdamping) van het niet bevochtigen ervan. Hoewel in de bevochtigde couveuse de verdamping en daarmee de warmteafgifte door verdamping lager zijn, kan de invloed hiervan op de warmteproductie gering zijn. Hey en Maurice⁶² toonden aan dat de invloed van de vochtigheid van de couveuselucht op de warmteproductie gering is als het kind zich in de neutrale omgevingstemperatuur bevindt. Bij lagere omgevingstemperatuur is de invloed van de vochtigheid daarentegen veel groter en kan, zelfs bij onvoldoende warmteproductie daling van de lichaamstemperatuur tot gevolg hebben. Dit werd ook door Silverman¹¹⁵ waargenomen, terwijl Belgaumkar en Scott¹² waarnamen dat de rectale temperatuur van pasgeborenen in een *servo-controlled* convectiecouveuse tot beneden de normale waarde daalde als het bevochtigingssysteem uit de couveuse werd weggenomen. Dit betekent dat de bevochtiging van het de couveuse binnenstromende gas niet zonder meer bij elke couveuse kan worden weggelaten. Bovendien worden couveusewand- en luchttemperatuur beïnvloed door de vochtigheid van de couveuselucht. Hey en Mount⁶³ namen waar dat de couveusewand- en luchttemperatuur beide 1.5°C stegen als de vochtigheid van de couveuselucht werd verhoogd van 20–30% naar 70–80% relatieve vochtigheid. In de convectiecouveuse heeft vermindering van de vochtigheid van de couveuselucht dus niet alleen verhoging van de warmteafgifte door verdamping tot gevolg, maar, door het dalen van de couveusewand- en luchttemperatuur, ook een verhoging van warmteafgifte door straling en convectie. Hierom moeten couveusewand- en luchttemperatuur onafhankelijk van de vochtigheid kunnen worden geregeld.

Het is mogelijk dat de in te stellen couveusewand- en luchttemperatuur, voor zover het de pasgeborenen in de gewichtsgroep 0.88–1.25 kg in onze couveuse betreft, in de eerste levensweek iets hoger moet zijn dan in tabel 13 en 14 is aangegeven, omdat de gemiddelde rectale temperatuur en de gemiddelde abdominale huidtemperatuur in deze gewichtsgroep iets lager dan normaal waren.

De berekende warmteafgifte door straling en convectie is in de in dit onderzoek gebruikte couveuse het kleinst bij pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht (tabel 20). Dit geldt voor de eerste levensweek. Zowel in de eerste als in de tweede levensweek is de gemiddelde warmteafgifte door straling en convectie in de gewichtsgroep 0.88–1.75 kg lager dan in de gewichtsgroep 1.75–2.88 kg. Dit is het gevolg van de ingestelde couveusewand- en luchttemperatuur. Het aandeel van de warmteafgifte door straling en convectie in de totale warmteafgifte wordt hierdoor eveneens bepaald. Bij pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht, die een verhoogde warmteafgifte door verdamping hebben, kan men bewerken dat de totale warmteafgifte niet verhoogd is door de warmteafgifte door straling en convectie te minimaliseren. Dit is echter alleen mogelijk wanneer de couveusewand- en luchttemperatuur gemeten worden en regelbaar zijn, zoals in onze couveuse het geval is.

7.2 Conclusies

De *resting metabolic rate* van pasgeborenen en zuigelingen in de bij dit onderzoek gebruikte couveuse met wandverwarming komt overeen met de *resting metabolic rate* van vergelijkbare kinderen in experimentele klimaatkamertjes. Dit is het geval ondanks de verhoogde warmteafgifte door verdamping, die ten dele het gevolg is van het niet bevochtigen van het de couveuse binnenstromende gas.

Dat de verdamping van pasgeborenen en zuigelingen met een zeer laag geboortegewicht in onze niet bevochtigde couveuse niettemin lager is dan de verdamping van vergelijkbare kinderen in bevochtigde convectiecouveuses, is waarschijnlijk het gevolg van de zeer lage lichtsnelheid in onze couveuse. Het voordeel van het niet bevochtigen van het de couveuse binnenstromende gas wordt, gezien het gevaar van bacteriële besmetting groter geacht dan het nadeel van de verhoogde verdamping. Het hiermee gepaard gaande vochtverlies kan gemakkelijk worden aangevuld en biedt tevens gelegenheid om met het vocht intraveneus of oraal voedingsstoffen toe te dienen.

Door het nauwkeurig instellen van de couveusewand- en luchttemperatuur kan warmteafgifte door straling en convectie in onze couveuse minimaal worden gehouden. Een verhoogde warmteafgifte door verdamping kan hierdoor worden gecompenseerd zodat de totale warmteafgifte nauwelijks toeneemt.

Aangezien het klimaat in onze couveuse het klimaat dat in experimentele klimaatkamertjes kan worden onderhouden, benadert, is deze couveuse te prefereren boven de conventionele convectiecouveuse.

SAMENVATTING

Pasgeborenen met een laag geboortegewicht worden meestal in couveuses verpleegd om te voorkomen dat hun lichaamstemperatuur beneden de normale waarde daalt. De neutrale omgevingstemperatuur van het kind wordt in het algemeen beschouwd als de optimale temperatuur. Bij de neutrale omgevingstemperatuur is niet alleen de lichaamstemperatuur van het kind normaal, maar bovendien is de warmteproductie noodzakelijk voor het handhaven van de lichaamstemperatuur, minimaal. Dit komt omdat bij de neutrale omgevingstemperatuur de warmteafgifte minimaal is.

Voor de verpleging van pasgeborenen met een laag geboortegewicht maakt men doorgaans gebruik van convectiecouveuses. Een convectiecouveau is een blok-vormige doos met doorzichtige perspex wanden. De lucht in de couveau wordt met behulp van een onderin de couveau aangebracht verwarmingssysteem verwarmd en stijgt in de couveau op (natuurlijke convectie) of wordt er doorheen geblazen (geforceerde convectie). Deze lucht wordt tevens bevochtigd. Het is gebleken dat de temperatuur van de couveuselucht en van de wanden meestal afwijkt van de aanwijzing van de in de couveau aangebrachte thermometer. Hoewel de temperatuur van de couveuselucht nauwkeurig wordt geregeld, blijkt de temperatuur van de couveusewand afhankelijk te zijn van de temperatuur van het vertrek waarin de couveau staat opgesteld en deze is veelal lager dan wat de thermometer in de couveau aanwijst. De warmteafgifte van het kind door straling en convectie is hierdoor groter dan men veronderstelt. Bovendien blijkt bij pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht de warmteafgifte door verdamping in de bevochtigde convectiecouveau veel groter te zijn dan de verdamping in experimentele klimaatkamertjes.

Uit het bovenstaande blijkt dat het kind in de convectiecouveau zich meestal niet in de neutrale omgevingstemperatuur bevindt, tenzij men de temperatuur van het vertrek waarin de couveau is opgesteld, verhoogt. Dit wordt meestal niet gedaan. Wel wordt gebruik gemaakt van een over het kind geplaatst halfcylindervormig perspex schild (warmteschild) of verdubbelt men de couveusewand. Het is niet bekend of deze hulpmiddelen in de praktijk van de verpleging van pasgeborenen voldoende zijn. Bovendien is men bij gebruik van deze hulpmiddelen er niet zeker van dat de couveusewand- en luchttemperatuur op de gewenste waarde zijn ingesteld; meting van wand- en luchttemperatuur zijn hiertoe vereist.

In de Groningse Kinderkliniek is voor de verpleging van pasgeborenen met een

laag geboortegewicht een couveuse in gebruik waarvan de wand- en de luchttemperatuur regelbaar zijn. De cilindervormige couveuse is van doorzichtig perspex gemaakt. Door middel van in de wand aangebrachte verwarming is de temperatuur van de couveusewand onafhankelijk van de temperatuur van het vertrek waarin de couveuse staat opgesteld, te regelen. Om het gevaar van bacteriële besmetting te vermijden, wordt het de couveuse binnenstromende gas niet bevochtigd. De luchtstroomsnelheid is zeer laag. De verschillen tussen de conventionele convectiecouveuse en de in de Groningse Kinderkliniek in gebruik zijnde couveuse zijn dus: de vorm van de couveuse, de wandverwarming, het niet bevochtigen van het de couveuse binnenstromende gas en de zeer lage luchtsnelheid.

Het in deze dissertatie beschreven onderzoek had tot doel: het bepalen van de warmteproductie en warmteafgifte van pasgeborenen met een laag geboortegewicht verpleegd in de in de Groningse Kinderkliniek in gebruik zijnde couveuse, en het vergelijken van de uitkomsten met gegevens verkregen in convectiecouveuses en in experimentele klimaatkamertjes. De aanleiding en het doel van het onderzoek zijn beschreven in hoofdstuk 1.

In hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van de literatuur over de invloed van de omgevingstemperatuur op de mortaliteit van pasgeborenen en op de warmtehuishouding van deze kinderen. Hierbij zijn de begrippen kouderesponsie, laagste en hoogste kritische omgevingstemperatuur en neutrale omgevingstemperatuur gedefinieerd. Er wordt aangetoond dat er geen overeenstemming bestaat over de neutrale omgevingstemperatuur. Tevens wordt in verband met de temperatuur in de couveuse ingegaan op het begrip operationele temperatuur. De factoren die het klimaat in de couveuse bepalen, worden genoemd.

In hoofdstuk 3 komt de warmteproductie van de pasgeborene aan de orde. Er wordt nader ingegaan op de bepaling van de warmteproductie met behulp van indirecte calorimetrie. De calorische waarde van voedingsstoffen en van O_2 worden aan de hand van gegevens uit de literatuur aangegeven. Vermeld wordt hoe de warmteproductie kan worden berekend uit de O_2 opname alleen, uit O_2 opname en CO_2 afgifte, en uit O_2 opname en CO_2 afgifte en N uitscheiding. De waarden voor de warmteproductie van pasgeborenen en zuigelingen uit de literatuur worden besproken. Kritische aantekeningen worden gemaakt bij het begrip basaal metabolisme.

In hoofdstuk 4 worden de warmteafgifte en de wegen waarlangs warmteafgifte plaatsvindt, besproken. Achtereenvolgens worden de warmteafgifte door straling, convectie, conductie en verdamping en de methoden ter bepaling hiervan behandeld.

In hoofdstuk 5 zijn de proefopstelling en de methoden van onderzoek vermeld. Achtereenvolgens worden de bepaling van het klimaat in de in dit onderzoek gebruikte couveuse, de bepaling van de warmteproductie en de bepaling van de warmteafgifte beschreven. In het bijzonder wordt aandacht besteed aan de ijking van de

diaferometer met uitademingsgas, de berekening van de warmteproductie van pasgeborenen uit de O_2 opname en de CO_2 afgifte en de bepaling van de verdamping van de pasgeborene met een speciaal voor dit doel geconstrueerde balans.

In hoofdstuk 6 zijn de resultaten van onderzoek bij 30 pasgeborenen weergegeven. De resultaten zijn ingedeeld naar de eerste en de tweede levensweek en naar gewichtsgroepen. Rectale temperatuur, abdominale huidtemperatuur, couveuse wand- en luchttemperatuur, vochtigheid van de couveuselucht, O_2 opname, warmteproductie, warmteafgifte door verdamping en warmteafgifte door straling en convectorie zijn in tabellen 11 tot 21 vermeld.

Hoofdstuk 7 omvat de discussie en de conclusies. In de discussie worden nauwkeurigheid van de methode van onderzoek, het klimaat in de in dit onderzoek gebruikte couveuse, en de warmteproductie- en afgifte van kinderen aan een kritische beschouwing onderworpen. Uit de resultaten van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat de warmteproductie van pasgeborenen in onze couveuse overeenkomt met de warmteproductie van pasgeborenen in experimentele klimaatkamertjes. Door het niet bevochtigen van de couveuselucht is de warmteafgifte door verdamping bij pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht verhoogd, maar toch nog lager dan in bevochtigde convectiecouveuses. De totale warmteafgifte is daarentegen nauwelijks verhoogd, omdat door nauwkeurig instellen van couveuse wand- en luchttemperatuur de warmteafgifte door straling en convectorie kan worden geminimaliseerd. Bij de vochttoediening aan pasgeborenen met een zeer laag geboortegewicht in de couveuse moet rekening worden gehouden met het vochtverlies door verdamping. Doorgaans dient men, gezien de bij deze kinderen dreigende hypoglycaemie, veelal reeds intraveneus vocht (glucose) toe en kan dit vochtverlies vooral in de eerste levensdagen zonder bezwaar worden gecompenseerd. Aangezien het klimaat in onze couveuse het klimaat dat in experimentele klimaatkamertjes kan worden onderhouden, benadert, is deze couveuse te prefereren boven de conventionele convectiecouveuse.

SUMMARY

Low birthweight newborn infants are usually treated in incubators to keep their body temperature at a normal level. Neutral temperature has generally been accepted as the optimal temperature. It keeps the body temperature within its normal range, with minimum heat production, due to a minimum heat loss.

In most cases the convection incubator is used for treatment of low birthweight newborn infants. A convection incubator is a cubical box with clear perspex walls. The air inside the incubator is heated by way of a heating system at the bottom and is circulated by means of natural or forced convection. The air is also humidified. The temperature in the convection incubator can be read from a thermometer attached to its wall. It has been shown however, that in most instances the temperature in the convection incubator does not correspond to the temperature indicated by the thermometer. The temperature of the air in the convection incubator is also not constant, and the temperature of the incubator wall is affected by the room temperature. This means that heat loss of the child due to radiation and convection is greater than is assumed on reading the thermometer. Moreover, it has been shown that evaporation and heat loss by evaporation of very low birthweight newborn infants are much greater in the humidified convection incubator than the minimum evaporation estimated in metabolic chambers.

From this one can conclude that the low birthweight newborn infant in the convection incubator can only be treated at the neutral temperature when the excess heat loss by radiation, convection and evaporation is prevented. Heat loss by radiation can be diminished by raising the room temperature, this affects the temperature of the incubator wall. In practice a heat shield is used instead. A half cylindrical perspex shield is placed over the baby. Another possibility is the use of a double perspex incubator wall. The effectiveness of these devices is unsure, because the temperature of the wall is not measured. Moreover the use of these devices does not warrant that the incubator wall and air temperature remain at the desired value. To this end wall and air temperature should be measured.

In the Department of Pediatrics of the University of Groningen an incubator with a separate heating system for air and walls is used for the treatment of low birthweight newborns. The incubator is cylindrical, and has clear perspex walls. By way of their special heating system the temperature of the incubator walls can be regulated independently of the room temperature. To prevent bacterial contamination

tion the air entering the incubator is not humidified. The air velocity is kept very low. This incubator though differs from the convection incubator in four respects: shape, heating system of the walls, dispensing with humidification of the air, very low air velocity.

The purpose of this study was to estimate heat production and heat loss of low birthweight newborn infants in this type of incubator and to compare the results with those obtained from low birthweight newborn infants in convection incubators and metabolic chambers. The purpose of the study is discussed in chapter 1.

In chapter 2 a survey of the literature on the influence of environmental temperature on mortality and on the heat balance of newborn infants is given. Cold response, critical temperature and neutral temperature are defined. It is shown that there is no agreement as to neutral temperature. The temperature inside the incubator is discussed.

Chapter 3 deals with the heat production of newborn infants. The measurement of heat production by means of indirect calorimetry is discussed. The caloric values of several types of food and of O_2 are mentioned, followed by calculations of the heat production from O_2 consumption, from O_2 consumption and CO_2 production, and from O_2 consumption and CO_2 production and N excretion. A survey of the literature on the values for heat production of newborn infants is given.

In chapter 4 heat loss by radiation, convection, conduction and evaporation and the methods of measurement are discussed.

Chapter 5 is about the experimental set up and the methods of investigation. The determination of the climate in the incubator, the measurement of the heat production and the measurement of the heat loss are described. The calibration with expired air of the diaphanometer (the instrument for the determination of O_2 consumption and CO_2 production), the calculation of the heat production of newborn infants from O_2 consumption and CO_2 production, and the measurement of evaporation of newborn infants by means of a specially constructed balance, are described in detail.

In chapter 6 the results of the study of 30 newborn infants are given. The results are grouped according to age (first and second week of life) and weight (0.88 – 1.25, 1.25 – 1.75, 1.75 – 2.25, 2.25 – 2.88 kg birth weight). The collected data of rectal temperature, abdominal skin temperature, temperature of the incubator wall and the air inside the incubator, humidity in the incubator, O_2 consumption, heat production, heat loss by evaporation, radiation and convection, are given in tables 11–21.

In chapter 7 the results are discussed. The accuracy of the methods, the climate inside the incubator and the heat production and heat loss of the newborn infants in the incubator are critically examined. It can be concluded that the heat production of newborn infants in our incubator corresponds to that of newborn infants in a metabolic chamber. In this non-humidified incubator the evaporation of very low

birthweight newborn infants is increased but lower than in humidified convection incubators. When administering fluid to very low birthweight newborn infants in the incubator the loss of fluid due to evaporation should be taken into account. In order to avoid hypoglycemia, glucose solution is administered intravenously in most cases. This infusion can easily be used to compensate for the excess loss of fluid. Notwithstanding the increased heat loss by evaporation the total heat loss is hardly increased in our incubator. This results from heating the incubator walls as well as the air inside the incubator.

In view of the fact that the climate in our incubator approaches the climate which can be maintained in a metabolic chamber, this incubator should be preferred to the conventional convection incubator.

LITERATUUR

- 1 Adams, F. H., Fujiwara, T., Spears, R., Hodgman, J., Gaseous metabolism in premature infants at 32–34°C ambient temperature.
Pediatrics 33, 75 (1964).
- 2 Adamson, K. Jr., Gandy, G. M. and James, L. S., The influence of thermal factors upon oxygen consumption of the newborn infant.
J. Pediat. 66, 495 (1965).
- 3 Agate, F. J., Silverman, W. A., The control of body temperature in the small newborn infant by low-energy infrared radiation.
Pediatrics 31, 725 (1963).
- 4 Astheimer, R. W., Warmser, E. M., High speed infrared radiometers.
J. Opt. Soc. Am. 49, 179, (1959).
- 5 Atwater, W. O., Bryant A. P., (1900), The availability and fuel value of food materials.
Conn. (storrs) Agric. Exp. Sta., 12th Ann. Rep., (1899).
- 6 Auld, P. A. M., Bhangamanda, P. and Mehta, S., The influence of an early caloric intake with i.v. glucose on catabolism of premature infants.
Pediatrics 37, 592 (1966).
- 7 Avery, D. G., Goodwin, D. W., Rennie, A. E., New infra-red detectors using antimonide.
J. Sci. Instrum. 34, 394 (1957).
- 8 Bahkoo, O. M., Scopes, J. W., Weight minus extracellular fluid as metabolic reference standard in newborn baby.
Arch. Dis. Child. 46, 483 (1971).
- 9 Bahkoo, O. M., Scopes, J. W., Minimal rates of oxygen consumption in small-for-dates babies during the first week of life.
Arch. Dis. Child. 49, 583 (1974).
- 10 Basch, F. P., Holinger, P., Poncher, H. G., Physical and chemical properties of sputum. II. Influence of drugs, steam, carbondioxide and oxygen.
Amer. J. Dis. Child. 62, 1149 (1941).
- 11 Bedford, T., Warner, C. G., The globe thermometer in studies of heating and ventilation. *J. Hygiene* 34, 458 (1934).
- 12 Belgaumkar, T. K., Scott, K. E., Effects of low humidity on small premature infants in servocontrol incubators.
Biol. Neonate 26, 337 (1975).
- 13 Benzinger, T. H., Kitzinger, C., Direct calorimetry by means of the gradient principle.
Rev. Sci. Instr. 29, 849 (1949).
- 14 Bettley, F. R., Donoghue, E., Effect of soap on the diffusion of water through isolated human epidermis.
Nature 2, 17 (1960).
- 15 Blackfan, K. D., Yaglou, C. P., The premature infant. A study of the effects of atmospheric conditions on growth and on development.
Amer. J. Dis. Child. 46, 1175 (1933).
- 16 Bligh, J., Johnson, K. G., Glossary of terms for thermal physiology.
J. appl. Physiol. 35, 941 (1973).

- 17 Boekelman, M. T., Diaferometrische gasstofwisselingsbepalingen bij verschillende groepen zuigelingen.
Proefschrift, Universiteit Groningen, (1957).
- 18 Boyd, E., The growth of the surface area of the human body.
Minneapolis, University of Minnesota Press p 100 (1935).
- 19 Brattain, W. H., Becker, J. A., Thermistor bolometers.
J. Optic. Soc. Amer. 36, 354 (1946).
- 20 Briggs, J. M., A clinical trial of Alvelaire in pulmonary distress of the newborn infant.
J. Pediat. 46, 621 (1955).
- 21 Brooke, O. G. and Ashworth, A., The influence of malnutrition on the postprandial metabolic rate and respiratory quotient.
Br. J. Nutr. 27, 407 (1972).
- 22 Brück, K., Brück, M., Der Energieumsatz hypothermer Frühgeborener.
Klin. Wschr. 38, 1125 (1960).
- 23 Brück, K., Temperature regulation in the newborn infant.
Biol. Neonat. 3, 63 (1961).
- 24 Brück, K., Water in expired air: Physiology and measurement.
J. Pediat. 60, 869 (1962).
- 25 Brück, K., Parmelee, A. H. Jr., Brück, M., Neutral temperature range of 'thermal comfort' in premature infants.
Biol. Neonat. 4, 32 (1962).
- 26 Brück, K., Heat production and temperature regulation, in: Stave, U., Physiology of the perinatal period, volume 1, A.C.C. New York, (1970).
- 27 Budin, P., 'Le nourisson', alimentation et hygiène des enfants débiles- enfants nés à terme, Paris, Octave Dion ed., (1900).
- 28 Buetow, K. C., Klein, S. W., Effects of maintenance of 'normal' skin temperature on survival of infants of low birth weight.
Pediatrics 34, 163 (1964).
- 29 Burton, A. C., Edholm, O. G., Man in a cold environment.
Arnold, London. 49, 51 (1955).
- 30 Cathcart, E. P., Cuthbertson, D. P., The composition of fatty substances of the human subject.
J. Physiol. 72, 349 (1931).
- 31 Consolazio, C. F., Johnson, R. E. and Pecora, L. J., Physiological measurements of metabolic functions in man.
McGraw-Hill Book Company Inc., New York, (1963).
- 32 Clark, R. P., Toy, M., Forced convection around the human head.
J. Physiol. 244, 295 (1975).
- 33 Clark, R. P., Toy, M., Natural convection around the human head.
J. Physiol. 244, 283 (1975).
- 34 Day, R., Curtis, J., Kelly, M., Respiratory metabolism in infancy and childhood. XXVII Regulation of body temperature of premature infants.
Amer. J. Dis. Child. 65, 376 (1943).
- 35 Day, R. L., Caliguiri, L., Kamenski, C., Ehrlich, F., Body temperature and survival of premature infants.
Pediatrics 34, 171 (1964).
- 36 Doepp, P., Ruehl, M. J. G., Die Ruel'sche Wiege.
Analekten über Kinderkrankheiten 3, 1961 Stuttgart (1835).
- 37 Draper, J. W., Boag, J. W., The calculation of skin temperature distributions in thermography.
Phys. Med. Biol. 16, 201 (1971).
- 38 Dubois, E. F., Basal metabolism in health and disease.
Lea and Febiger, Philadelphia, (1927).

- 39 Dubois, E. F., Ebaugh, F. G., Hardy, J. D., Basal heat production and elimination of thirteen normal women at temperatures from 22 to 35°C.
C. J. Nutrit. 48, 257 (1952).
- 40 Eckert, E., Wärme und Stoffaustausch.
Berlin, Springer Verlag. (1959).
- 41 Eckstein, A., Ueber die Wärmeregulierung der Frühgeburten.
Ztschr. f. Kinderh. 42, 5 (1926).
- 42 Edmonson, E. B., Reinarz, J. A., Pierce, A. K., Sanford, J. P., Nebulisation equipment. A potential source of infection in gram-negative pneumonia.
Amer. J. Dis. Child. 111, 357 (1966).
- 43 Elam, R., Goodwin, D. W., Lloyd Williams, K., Optical properties of the human epidermis.
Nature 198, 1001 (1963).
- 44 Erikson, H., Krog, J., Lange-Anderson, K. and Scholander, P. F., The critical temperature in naked man.
Acta Physiol. Scand. 37, 35 (1956).
- 45 Fanaroff, A. A., Wald, M., Gruba, H. S., Klaus, M. H., Insensible water loss in low birthweight infants.
Pediatrics 50, 236 (1972).
- 46 Fenner, A., List, M., Observations of body temperature regulation in young premature and full-term newborns while being connected to a servo controlled temperature unit.
Biol. Neonat. 18, 300 (1973).
- 47 Fürst, L., Über Wärmevorrichtungen für frühgeborene oder lebensschwache Kinder.
Dtsch. Med. Wschr. Aug./Sept. (1887).
- 48 Gagge, A. P., Standard operative temperature, a generalized temperature scale, applicable to direct and partitioned calorimetry.
Am. J. Physiol. 131, 93 (1940).
- 49 Gagge, A. P., Standard operative temperature, a single measure of the combined effect of radiant temperature, of ambient air temperature and of air movement on the human body.
In: Temperature: Its measurement and control in Science and Industry.
Reinhold Publishing Company, p. 544, (1941).
- 50 Geigy Wissenschaftliche Tabellen.
- 51 Gentz, J., Kellum, M., Metabolic effects of feeding after times of starvation.
Biol. Neonat. 19, 24 (1971).
- 52 Grison, P., Sur la détermination de l'optimum thermique chez un insecte le Bombyx.
Comp. Rend. Soc. Biol. 141, 1207 (1947).
- 53 Hale, F. C., Westland, R. A., Taylor, C. L., Barometric and vapor pressure influences on insensible weight loss.
J. appl. Physiol. 12, 20 (1958).
- 54 Hardy, J. D., The radiation of heat from the human body. I. An instrument for measuring the radiation and surface temperature of the skin.
J. Clin. Invest. 13, 817 (1934).
- 55 Hardy, J. D., Heat transfer. Physiology of heat regulation and science of clothing. L. H. Newburgh, Ed. Philadelphia, Saunders, pg. 78 (1949).
- 56 Hardy, J. D., and Dubois, E. F., Basal metabolism, radiation, convection and vaporisation at temperatures of 22 to 35°C.
J. Nutr. 15, 477 (1938).
- 57 Hardy, J. D., Soderstrom, G. F., Heat loss from the nude body and peripheral blood flow at temperatures of 22°C to 35°C.
J. Nutr. 16, 493 (1938).
- 58 Hattingh, J., The influence of hormones and blood flow on transepidermal water loss.
Comp. Biochem. Physiol. 50a, 439 (1975).
- 59 Hey, E. N., The relation between environmental temperature and oxygen consumption in the newborn baby.

- J. Physiol. 200, 589 (1969).
- 60 Hey, E. N., The care of babies in incubators, in: Gairdner, D. and Hull, E., Eds. Recent Advances in Pediatrics, 4th ed. J. A. Churchill, London. (1971).
 - 61 Hey, E. N., Thermal neutrality. Brit. Med. Bull. 1, 69 (1975).
 - 62 Hey, E. N., Maurice, N. P., Effect of humidity on production and loss of heat in the newborn baby. Arch. Dis. Child. 43, 166 (1968).
 - 63 Hey, E. N., Mount, L. E., Temperature control in incubators. The Lancet II, 202 (1966).
 - 64 Hey, E. N., Mount, L. E., Heat losses from babies in incubators. Arch. Dis. Child. 42, 75 (1967).
 - 65 Hey, E. N., Katz, G., Evaporative water loss in the newborn baby. J. Physiol. 200, 605 (1969).
 - 66 Hey, E. N., Katz, G., The optimum thermal environment for naked babies. Arch. Dis. Child. 45, 328 (1975).
 - 67 Hill, J. R., Rahimtulla, K. A., Heat balance and metabolic rate of newborn babies in relation to environmental temperature and the effect of age and of weight on basal metabolic rate. J. Physiol. 180, 239 (1965).
 - 68 Hill, J. R., Robinson, D. C., Oxygen consumption in normally grown small-for-dates and large-for-dates newborn infants. J. Physiol. 199, 685 (1968).
 - 69 Hooper, J. M., Ivans, I. W. J., Stapleton, I., Resting pulmonary water loss in the newborn infant. Pediatrics 13, 206 (1954).
 - 70 Ingram, D. L., Mount, L. E., Man and animals in hot environments. In: Topics in environmental physiology and medicine, edited by K. B. Schaefer, Springer Verlag, (1975).
 - 71 Jolly, H., Molyneux, P., Newell, D. J., A controlled study of the effect of temperature on premature babies. J. Pediat. 60, 889 (1962).
 - 72 Jonxis, J. H. P., De Groot, C. J., Boelkens, M. Th. E., Schilte, P. P. M., De behandeling van een meisje met een ernstige maagdarfstoornis met een zogenaamd synthetisch dieet. Ned. Tijdschr. Gen. 117, 184 (1973).
 - 73 Jonxis, J. H. P., Van der Vlugt, J. J., De Groot, C. J., Boersma, E. R., Meijers, H. D. K., The metabolic rate in premature, dysmature and sick infants in relation to environmental temperature. In: Jonxis, J. H. P., Visser, H. K. A., Troelstra, J. A., eds., Aspects of prematurity and dysmaturity, Nutricia Symposium, H. E. Stenfert Kroese N.V., Leiden, (1967).
 - 74 Karlberg, P., Determination of standard energy metabolism (basal metabolism) in normal infants. Acta Paed. Scand. 41, suppl. 89, 67 (1952).
 - 75 Kerpel-Fronius, E., Varga, F., Mestyán, G., Clinical aspects of stability. Ciba Foundation Symposium on somatic stability in the newly born. G. E. W. Wolstenholme and Malve O'Connor, eds., Churchill, London, 1961. Cited in: Mestyán, J., Fekete, M., Bata, G. and Járαι, I., The basal metabolic rate of premature infants. Biol. Neonat. 7, 11 (1964).
 - 76 Klein, A. D., Scammon, R. E., The regional growth in surface area of the human body in prenatal life. Proc. Soc. Exp. Biol. (N.Y.) 27, 463 (1930).
 - 77 Kraus, A. N., Auld, P. A. M., Metabolic requirements of low birthweight infants. J. of Pediat. 75, 952 (1969).

- 78 Lacomme, M., Chabrun, J., Boreau, T., David, G., Application de la méthode dite hibernation artificielle à la pathologie néonatale.
Et. Néon. 3, 3 (1954).
- 79 Law, J. L., Insensible loss of weight in infancy.
Amer. J. Dis. Child. 55, 966 (1938).
- 80 Leichentritt, Z., Z. Biol. 69, 545 (1919).
- 81 Levine, S. Z., Kelly, M., Wilson, J. R., The insensible perspiration in infancy and in childhood. II. Proposed basal standards for infants.
Amer. J. Dis. Child. 39, 917 (1930).
- 82 Levinson, H., Delivoria-Papadopoulos, M., Swyer, P. R., Oxygen consumption in newly born infants with the respiratory distress syndrome.
Biol. Neonat. 7, 255 (1964).
- 83 Levison, H., Swyer, P. R., Oxygen consumption and the thermal environment in newly born infants.
Biol. Neonat. 7, 305 (1964).
- 84 Little, J. A., Brodsky, W. A., Greathouse, R., The insensible weight loss of newborns and of older infants.
Amer. J. Dis. Child. 90, 630 (1955).
- 85 Loewy, A.: in Oppenheimer's Handbuch der Biochemie 4, 1, 279 (1911).
- 86 Lusk, G., Analysis of the oxidation of mixtures of carbohydrate and fat (A correction).
J. of Biol. Chem. 54, 41 (1924).
- 87 Lusk, G., The elements of the science of nutrition, 4th ed., W.B. Saunders Comp., Philadelphia, (1928).
- 88 Magnus-Levy, A., The physiology of metabolism, vol. 1. In: Noorden, Carl von, Metabolism and practical medicine, London, William Heineman, p. 185, 392, (1907).
- 89 Marx, F. F., Die Entwicklung der Säuglingsinkubatoren. Verlag Siering KG., Bonn, (1968).
- 90 McCance, R. A., Strangeways, W. M. B., Protein catabolism and oxygen consumption during starvation in infants, young adults and old man.
Brit. J. Nutr. 8, 21 (1954).
- 91 McCance, R. A., Widdowson, E. M., The composition of food.
Med. Res. Council SRS 297 (1967).
- 92 Mestyán, J., Fekete, M., Bata, G. and Járαι, I., The basal metabolic rate of premature infants.
Biol. Neonat. 7, 11 (1964).
- 93 Mestyán, J., Járαι, I., Fekete, M. and Soltész, G. Y., Specific dynamic action in premature infants kept at and below the neutral temperature.
Pediat. Res. 3, 41 (1969).
- 94 Miller, M. C., Behrle, F. C., Hagar, D. L., Denison, T. R., The effect of high humidity on body temperature and oxygen consumption of newborn premature infants.
Pediatrics 27, 740 (1961).
- 95 Miller, M. C., Behrle, F. C., Nieman, J. L., Driver, R., Budding, B. A., Oxygen consumption in newborn premature infants.
Amer. J. Dis. Child. 103, 39 (1962).
- 96 Moffat, R. J., Gastemperature measurements, in Temperature its measurement and control in science and industry. Herzfeld, C. M., editor, Reinhold Publishing Corporation New York 3, 535.
- 97 Mordhorst, H., Über die chemische Wärmeregulation frühgeborener Säuglinge.
Mensch. Kinderheilkunde 55, 174 (1923).
- 98 Mount, L. E., Radiant and convective heat loss from the newborn pig.
J. Physiol. 173, 96 (1964).
- 99 Newburg, L. L. H., Woodwell Johnston, M., The insensible loss of water.
Phys. Rev. 22, 1 (1942).
- 100 O'Brien, D., Hansen, J. D. L., Smith, C. A., Effect of supersaturated atmospheres on

- insensible water loss in the newborn infant.
Pediatrics 12, 126 (1953).
- 101 Oh, W., Karechi, H., Phototherapy and insensible water loss in the newborn infant.
Amer. J. Dis. Child. 124, 230 (1972).
 - 102 Oliver, T. K. Jr., Temperature regulation and heat production in the newborn.
Pediat. Clin. N. Amer. 12, 765 (1965).
 - 103 Oliver, T. K., Karlberg, P., Gaseous metabolism in newly born human infants.
Amer. J. Dis. Child. 105, 427 (1963).
 - 104 Přibyllová, H., Einfluss der Umwelttemperatur auf den Sauerstoffverbrauch, auf die Körper- und Hauttemperatur und die Atmung der reifen Neugeborenen.
Ann. Pediat. 201, 399 (1963).
 - 105 Přibyllová, H., Znamenáček, K., Some aspects of thermoregulatory reactions in newborn infants during the first hours of life.
Biol. Neonat. 6, 324 (1964).
 - 106 Přibyllová, H., Znamenáček, K., Oxygen consumption and other regulative mechanisms of energy metabolism in pathological states of the newborn.
Biol. Neonat. 14, 133 (1969).
 - 107 Rapport nr. 27 van het Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O., Delft.
 - 108 Raudnitz, R. W., Die Wärmeregulation beim Neugeborenen.
Ztschr. Biol. 24, 423 (1888).
 - 109 Rubner, M. (1885), Calorimetrische Untersuchungen.
Z. Biol. 21, 250 (1885).
 - 110 Rubner, M., Der Energiewert der Kost des Menschen.
Z. Biol. 42, 261 (1901).
 - 111 Ryser, G., Jéquier, E., Study by direct calorimetry of thermal balance on the first day of life.
Europ. J. Clin. Invest. 2, 176 (1972).
 - 112 Scopes, J. W. and Ahmed, I., Minimal rates of oxygen consumption in sick and premature newborn infants.
Arch. Dis. Childh. 41, 407 (1966).
 - 113 Scopes, J. W., Ahmed, I., Range of Critical temperatures in sick and premature newborn babies.
Arch. Dis. Childh. 41, 417 (1966).
 - 114 Senterre, J., Karlberg, P., Respiratory quotient and metabolic rate in normal full-term and small-for-date newborn infants.
Acta Paediat. Scand. 59, 653 (1970).
 - 115 Silverman, W. A., The physical environment and the premature infant.
Pediatrics 23, 166 (1959).
 - 116 Silverman, W. A., Andersen, D. H., Controlled clinical trial of effects of Alevaire mist on premature infants.
J. Amer. Med. Ass. 157, 1093 (1955).
 - 117 Silverman, W. A., Andersen, D. H., A controlled clinical trial of effects of water mist on obstructive clinical signs, death rate and necropsy findings among premature infants.
Pediatrics 17, 1 (1956).
 - 118 Silverman, W. A., Blanc, W. A., The effect of humidity on survival of newly-born premature infants.
Pediatrics 20, 477 (1957).
 - 119 Silverman, W. A., Fertig, J. W., and Kraus, A., A proposed method of computing standardized death rates for premature nurseries.
Pediatrics 15, 467 (1955).
 - 120 Silverman, W. A., Fertig, J. W., Berger, A. P., The influence of the thermal environment upon the survival of premature infants in the first five days of life.
Amer. J. Dis. Child. 94, 566 (1957).

- 121 Silverman, W. A., Fertig, J. W., Berger, A. P., The influence of the thermal environment upon the survival of newly-born premature infants. *Pediatrics* 22, 876 (1958).
- 122 Sinclair, J. C., Metabolic rate and body size of the newborn. *Ped. Clin. N. Amer.* 17, 147 (1970).
- 123 Sinclair, J. C., Silverman, W. A., Relative hypermetabolism in undergrow human neonates. *Lancet* 2, 49 (1964).
- 124 Sinclair, J. C., Silverman, W. A., Intra-uterine growth in active tissue mass of the human fetus, with particular reference to the undergrow baby. *Pediatrics* 38, 48 (1966).
- 125 Smith, C. A., The physiology of the newborn infant, 3rd ed. Charles C. Thomas, Publisher, Springfield, 111., U.S.A. (1959).
- 126 Stadie, W. C., Riggs, B. C., Haugaard, N., Oxygen poisoning. *Amer. J. Med. Sci.* 207, 84 (1944).
- 127 Standards and Recommendations for Hospital Care of newborn infants, 5th ed., American Academy of Pediatrics, P.O. Box 1034, Evanston, 111, 60204, U.S.A.
- 128 Sulyok, E., Jéquier, E., Ryser, G., Effect of relative humidity on thermal balance of the newborn infant. *Biol. Neonat.* 21, 210 (1972).
- 129 Ten Hoor, F., Rispens, P., Van de Wall, E., Zijlstra, W. G., Determination of oxygen uptake and carbon dioxide production in animals and man using a diaferometer calibrated with expired gas. Application in the direct Fick procedure for determining cardiac output. *Proc. Kon. Nederl. Akad. Wet. Series, C* 77, 429 (1974).
- 130 Troelstra, J. A., Jonxis, J. H. P., Visser, H. K. A., Van der Vlugt, J. J., Metabolism and acid-base regulation in respiratory distress syndrome, treatment with tris-hydroxymethyl-aminothane (THAM). In: The adaptation of the newborn infant to extra-uterine life', ed. Jonxis, J. H. P., Visser, H. K. A., Troelstra, J. A., H. E. Stenfert Kroese N.V., Leiden, p. 187 (1964).
- 131 Vademecum, Nutricia N.V., Zoetermeer (1971).
- 132 Van der Vlugt, J. J., Onderzoekingen naar energiestofwisseling bij kinderen met een laag geboortegewicht. Proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen, (1967).
- 133 Visser, B. F., Clinical gas analysis based on thermal conductivity. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, (1957).
- 134 Watmough, D. J., Oliver, R., Emissivity of human skin in the wave band between 2μ and 6μ . *Nature* 219, 622 (1968).
- 135 Wenger, C. B., Heat of evaporation of sweat: thermodynamic considerations. *J. appl. Physiol.* 32, 456 (1972).
- 136 Weir, J. B. de V., New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.* 109, 1 (1949).
- 137 Widdowsen, E. M., Dauncey, M. J., Gaudner, D. M. T., Jonxis, J. H. P., Pelikan-Filipkova, M., Body fat of British and Dutch infants. *Brit. Med. J.* 962, 653 (1975).
- 138 Winslow, C. E. A., Gagge, A. P., Herrington, L. P., The influence of air movement upon heat losses from the clothed human body. *Amer. J. Physiol.* 127, 505 (1939).
- 139 Winslow, C. E. A., Gagge, A. P., Herrington, L. P., Heat exchange and regulation in radiant environments above and below airtemperature. *Amer. J. Physiol.* 131, 79 (1940).
- 140 Winslow, C. E. A., Herrington, L. P., Gagge, A. P., The determination of radiation and convection exchanges by partitional calorimetry. *Amer. J. Physiol.* 116, 669 (1936).

- 141 Winslow, C. E. A., Herrington, L. P. and Gagge, A. P., Relations between atmospheric conditions, physiological reactions and sensations of pleasantness. *Amer. J. Hyg.* 26, 103 (1937).
- 142 Winslow, C. E. A., Herrington, L. P. and Gagge, A. P., Physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. *Amer. J. Physiol.* 120, 1 (1937).
- 143 Wu, P. Y. K., Hodgman, J. E., Insensible water loss in preterm infants: changes with postnatal development and non-ionizing radiant energy. *Pediatrics* 54, 704 (1974).
- 144 Yashiro, K., Adams, F. H., Emmanouilidas, G. C., Mickey, M. R., Preliminary studies on the thermal environment of low birth weight infants. *J. Ped.* 82, 991 (1973).
- 145 Zuntz, N., Über den Stoffverbrauch des Hundes bei Muskelarbeit. *Pflügers Arch. Physiol.* 68, 191 (1897).
- 146 Zuntz, N., Schumberg, N. A. E. F., Studien zu einer Physiologie des Marsches. A. Hirschwald, Berlin, (1901).
- 147 Zweymüller, E., Preining, O., The insensible water loss of the newborn infant. *Acta Paed. Scand. suppl.* 205 (1970).
- 148 Zijlstra, W. G., Brunsting, J. R., ten Hoor, F., Mook, G. A., Rispen, P., Fysiologie van het interne milieu, 3e druk, Van Gorcum en Comp., B.V., Assen, (1973).

LIJST VAN SYMOLEN EN AFKORTINGEN

A oppervlak

- A_c het voor convectie relevante lichaamsoppervlak
- A_d het voor conductie relevante lichaamsoppervlak
- A_e het voor verdamping relevante lichaamsoppervlak
- A_r het voor straling relevante lichaamsoppervlak

c warmtegeleidingsvermogen

- c_m warmtegeleidingsvermogen van het matras

e stralingscoëfficiënt

- e_s stralingscoëfficiënt van de huid
- e_w stralingscoëfficiënt van de wand

F_X volumefractie van het gas *X* in een gasmengsel

- F_{CO_2} volumefractie van CO_2
- F_{H_2O} volumefractie van H_2O
- F_{O_2} volumefractie van O_2
- $F_{CO_2}^c$ volumefractie van CO_2 in gascilinders
- $F_{CO_2}^m$ volumefractie van CO_2 in de meetkamer van de diaferometer
- $F_{CO_2}^p$ volumefractie van CO_2 in de gaszak
- $F_{H_2O}^z$ volumefractie van H_2O van met waterdamp verzadigd gas

- $F_{O_2}^c$ volumefractie van O_2 in gascilinders
- $F_{O_2}^m$ volumefractie van O_2 in de meetkamer van de diaferometer
- $F_{O_2}^p$ volumefractie van O_2 in de gaszak

$F_{CO_2}^D$ volumefractie van CO_2 in het door de diaferometer aangezogen gasmengsel

- $F_{CO_2}^E$ volumefractie van CO_2 in uitademingsgas
- $F_{CO_2}^I$ volumefractie van CO_2 in inademingsgas

$F_{H_2O}^D$	volumefractie van H_2O in het door de diaferometer aangezogen gasmengsel
$F_{O_2}^D$	volumefractie van O_2 in het door de diaferometer aangezogen gasmengsel
$F_{O_2}^E$	volumefractie van O_2 in uitademingsgas
F_{O_2}	volumefractie van O_2 in inademingsgas
G	galvanometeruitslag
G_{O_2}	galvanometeruitslag van het O_2 kanaal van de diaferometer
G_{CO_2}	galvanometeruitslag van het CO_2 kanaal van de diaferometer
ΔG	verandering in vrije energie
H	warmteafgifte
H_c	warmteafgifte door convectie
H_d	warmteafgifte door conductie
H_e	warmteafgifte door verdamping
H_i	warmteafgifte aan opgenomen voedingsstoffen
H_r	warmteafgifte door straling
h	warmtegeleidingscoëfficiënt
\bar{h}_c	gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt van stilstaande lucht
L	leeftijd
m	massa
\dot{m}	massa per tijdseenheid
\dot{m}_e	per tijdseenheid geoxydeerde massa eiwitten
\dot{m}_k	per tijdseenheid geoxydeerde massa koolhydraten
\dot{m}_v	per tijdseenheid geoxydeerde massa vetten
\dot{m}_{H_2O}	per tijdseenheid verdampde massa H_2O
\dot{m}_N	per tijdseenheid met de urine uitgescheiden massa N
M	warmteproductie
M_e	warmte geproduceerd bij oxydatie van eiwitten
M_k	warmte geproduceerd bij oxydatie van koolhydraten
M_v	warmte geproduceerd bij oxydatie van vetten
\dot{M}	warmteproductie per tijdseenheid

P	druk
P_b	atmosferische druk, barometerdruk
P_{H_2O}	waterdampspanning
R	respiratoir quotient
S	gevoeligheid van een diaferometerkanaal
S'	schijnbare gevoeligheid van een diaferometerkanaal
S'_{CO_2}	schijnbare gevoeligheid van het CO_2 kanaal van de diaferometer voor CO_2
S'_{O_2}	schijnbare gevoeligheid van het O_2 kanaal van de diaferometer voor O_2
T	temperatuur
T_a	luchttemperatuur
T_o	operationele temperatuur
T_r	gemiddelde stralingstemperatuur
T_r	rectale temperatuur
T_s	huidtemperatuur
T_w	wandtemperatuur
V	volume
\dot{V}	volume per tijdseenheid, stroomsterkte
\dot{V}_p	stroomsterkte waarmee uitademingsgas onder de kap van de diaferometer wordt geleid
\dot{V}_v	stroomsterkte van het door de diaferometer aangezogen gasmengsel
\dot{V}_{ij}	stroomsterkte van ijkgas
\dot{V}_E	per tijdseenheid uitgeademde hoeveelheid gas
\dot{V}_I	per tijdseenheid ingeademde hoeveelheid gas
\dot{V}_{CO_2}	per tijdseenheid afgegeven hoeveelheid CO_2
\dot{V}_{O_2}	per tijdseenheid opgenomen hoeveelheid O_2
ATPS	omgevingstemperatuur en druk, verzadigd met waterdamp
BTPS	lichaamstemperatuur en druk, verzadigd met waterdamp
STPD	standaardcondities ($0^\circ C$, 760 mm Hg, droog)
BMR	<i>basal metabolic rate</i>
RMR	<i>resting metabolic rate</i>
MOMR	<i>minimum observed metabolic rate</i>

